



TUGAS AKHIR - MO 141326

***ANALISA ULTIMATE STRENGTH STRUKTUR JACKET
PLATFORM BERBASIS KEANDALAN PASCA
SUBSIDENCE***

Shailla Ainnillah

NRP. 4313100125

Dosen Pembimbing:

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

JURUSAN TEKNIK KELAUTAN

Fakultas Tekonolgi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017



FINAL PROJECT - MO 141326

**RELIABILITY BASED ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS
ON JACKET PLATFORM STRUCTURE AFTER
SUBSIDENCE**

Shailla Ainnillah

NRP. 4313100125

Supervisors:

Ir. Handayanu, M.Sc. Ph.D

Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

DEPARTMENT OF OCEAN ENGINEERING

Faculty of Marine Technology

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Surabaya

2017

**ANALISA *ULTIMATE STRENGTH* STRUKTUR JACKET PLATFORM BERBASIS
KEANDALAN PASCA *SUBSIDENCE***

TUGAS AKHIR

Ditujukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat

Memperoleh Gelar Sarjana Teknik

Pada

Program Studi S-1 Jurusan Teknik Kelautan

Fakultas Teknologi Kelautan

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

Shailla Ainnillah

NRP. 4313100125

Disetujui oleh pembimbing tugas akhir :

- | | | |
|--------------------------------------|--|---------------------|
| 1. Ir. Handayanu, M.SC, Ph.D |  |(Pembimbing 1) |
| 2. Prof. Ir. Daniel M. Respati, Ph.D |  |(Pembimbing 2) |
| 3. Ir. Wisnu Wardhana, M.Sc., Ph.D |  |(Penguji 1) |
| 4. Prof. Ir. Soegiono |  |(Penguji 2) |
| 5. Silvianita S.T., M.Sc., Ph.D |  |(Penguji 3) |
| 6. Darta Marina S.T., M.T |  |(Penguji 4) |



SURABAYA, JANUARI 2017

ANALISA *ULTIMATE STRENGTH* STRUKTUR *JACKET PLATFORM* BERBASIS KEANDALAN PASCA *SUBSIDENCE*

Nama : Shailla Ainnillah
NRP : 4313100125
Jurusan : Teknik Kelautan
Dosen Pembimbing : Ir. Handayanu, M. Sc. Ph.D
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

ABSTRAK

Efek penurunan tanah pada *offshore structure* akan sangat berbahaya terutama pada ekofisik jika penurunan tanah terjadi 6 meter. Dari dampak negatif tersebut maka dilakukan perhitungan besar nya penurunan tanah yang dapat digunakan sebagai basis dalam mendesain bangunan lepas pantai sebagai proteksi yang penting. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa dampak *subsidence* yang berakibat penurunan kekuatan struktur secara keseluruhan yang sudah berbeda dari rancangan awal. Pada tugas akhir ini dilakukan analisa keandalan pada *jacket well and production tetrapod platform* KLB PHE ONWJ dalam kondisi *ultimate* dengan variasi kedalaman *subsidence*. Analisa *ultimate* dilakukan dengan meningkatkan beban lingkungan kondisi badai secara bertahap hingga struktur mengalami keruntuhan karena terbentuknya member-member pada keadaan plastis. Member dengan plastisitas 100% akan digunakan dalam analisa keandalan, dimana peluang kegagalannya diperoleh dengan simulasi *Monte Carlo* yang menggunakan *Random Number Generator* (RNG). Sedangkan keandalan sistem diperoleh dengan metode *Reliability Block Diagram* (RBD). Berdasarkan analisa kekuatan struktur diperoleh kedalaman *subsidence* maksimum agar tetap memenuhi API RP 2A WSD adalah kedalaman 5 meter dengan *unity check of member* terbesar mencapai 0,86. Pada analisa keruntuhan diperoleh hasil RSR terkecil 2,141 pada kondisi *subsidence* 6 meter akibat arah pembebanan 0°. Analisa keandalan sistem dilakukan untuk kondisi *non subsidence* hingga kondisi *subsidence* 6 meter dengan keandalan terkecil mencapai 0,454646 dan PoF terbesar 0,545354.

Kata Kunci : Monte Carlo, Reliability Block Diagram, Subsidence, Ultimate

RELIABILITY BASED ULTIMATE STRENGTH ANALYSIS ON JACKET PLATFORM STRUCTURE AFTER SUBSIDENCE

Name : Shailla Ainnillah
NRP : 4313100125
Department : Ocean Engineering
Supervisor : Ir. Handayanu, M. Sc. Ph.D
Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D

ABSTRACT

The effect of decreasing soil on offshore structure will be very dangerous, especially on eco-physics if subsidence occurs 6 meters. The negative impact of the calculation of its large land subsidence can be used as a basis in the design of offshore building as an important protection. Therefore, subsidence analysis that accommodates subsidence, collapse analysis need to be done, because the structure is different from initial design. Reliability analysis in this final project will be done on KLB PHE ONWJ jacket well and production tetrapod platform in the ultimate conditions with subsidence depth variation. Ultimate analysis is done by increasing gradually the environmental storm condition until structure collapse due to the deformation of the members into plastic condition. Member with 100% plasticity is used in the system reliability analysis, where the probability of failure are obtained using Monte Carlo simulation. Whereas, the reliability of the system obtained by the Reliability Block Diagram (RBD) method. Based on structural strength analysis, the result of maximum subsidence depth in order to comply with API RP 2A WSD standard is 5 meters depth of subsidence, with the largest unity check of member reaches 0,86. On the collapse analysis, the result of smallest RSR is 2,141 with the subsidence condition 6 meters due to loading direction 0^0 . The system reliability analysis was done for non-subsidence condition until 6 meters subsidence with the smallest reliability reaches 0,454646 and the largest probability of failure is 0,545354.

Keywords : Monte Carlo, Reliability Block Diagram, Subsidence, Ultimate

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul “**Analisa Ultimate Strength Struktur Jacket Platform Berbasis Keandalan Pasca Subsidence**” ini dengan lancar dan baik. Laporan ini disusun untuk memenuhi salah satu persyaratan dalam menyelesaikan Studi Kesarjanaan (S-1) di Jurusan Teknik Kelautan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Tugas Akhir ini membahas mengenai analisa keandalan pada platform KLB PHE ONWJ dalam kondisi *ultimate* dengan variasi kedalaman *subsidence*.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa dalam penulisan Tugas Akhir ini tidak luput dari kesalahan dan kekurangan karena keterbatasan penulis. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk evaluasi dan perbaikan laporan selanjutnya.

Demikian laporan ini penulis susun dengan sebaik-baiknya. Penulis berharap laporan ini dapat menjadi panduan dan acuan dalam pembuatan laporan lainnya di bidang analisis struktur terpancang rekayasa kelautan serta bermanfaat bagi penulis khususnya, bagi pembaca pada umumnya. Atas perhatian pembaca, penulis mengucapkan terima kasih

Surabaya, Januari 2017

Shailla Ainnillah

NRP. 4313100125

UCAPAN TERIMA KASIH

Dalam pengerjaan Tugas Akhir ini, penulis telah mendapatkan dukungan dan bantuan dari berbagai pihak baik sebelum mengerjakan Tugas Akhir, saat mengerjakan Tugas Akhir, serta setelah mengerjakan Tugas Akhir. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terima kasih kepada :

1. Mama dan keluarga penulis di Sukabumi yang secara tulus ikhlas memberikan doa dan dukungan moral maupun material
2. Dosen Pembimbing yakni Bapak Ir. Handayanu, M.Sc, Ph.D dan Bapak Prof. Ir. Daniel M. Rosyid, Ph.D yang telah bersedia membimbing dan mengarahkan penulis dalam pengerjaan Tugas Akhir ini
3. PT. ZEE Indonesia yang telah membantu dalam pengumpulan data Tugas Akhir ini
4. Ketua Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS Bapak Dr. Eng. Rudi Walujo Prastianto, ST, MT. dan seluruh staff pengajar maupun karyawan Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS yang telah membantu kelancaran penyelesaian Tugas Akhir
5. Alumni Jurusan Teknik Kelautan FTK ITS (Mbak Bunga, Mas Sulung, Mbak Ayu, Mas Fatih, Mas Ramzi, Mas Danu, Mas Aldi, Mas Enggar, Mas Yuni, Mas Adam) yang sudah membantu memahami materi untuk penyelesaian Tugas Akhir
6. Teman-teman VALTAMERI 2013 yang telah menyemangati, membantu, dan berjuang bersama
7. Pihak-pihak yang penulis tidak dapat sebutkan satu persatu

Semoga dukungan dan arahan yang telah diberikan oleh berbagai pihak untuk kebaikan penulis kedepannya dapat bermanfaat dan menjadi amalan barokah yang mendapatkan balasan yang lebih baik dari Allah SWT.

Surabaya, Januari 2017

Shailla Ainnillah

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	iii
ABSTRAK	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR	vi
UCAPAN TERIM KASIH	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR NOTASI	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv

BAB I. PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	3
1.4. Manfaat	4
1.5. Batasan Masalah	4
1.6. Sistematika Penulisan	4

BAB II. TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1. Tinjauan Pustaka	7
2.2. Dasar Teori	10
2.2.1. <i>Offshore Structure</i>	10
2.2.2. <i>Fixed Offshore Structure</i>	11
2.2.3. Teori Pembebanan	12
2.2.4. Analisis <i>Inplace</i>	14
2.2.5. Kriteria Penilaian <i>Platform (Platform Assessment)</i>	15
2.2.6. Konsep Tegangan	18
2.2.6.1. Konsep Tegangan Normal	18

2.2.6.2. Tegangan Tarik Aksial	19
2.2.6.3. Tegangan Tekan Aksial	19
2.2.6.4. Tegangan Lentur	20
2.2.6.5. Kombinasi Tegangan Tarik Aksial dan <i>Bending</i>	21
2.2.6.6. Kombinasi Tegangan Tekan Aksial dan <i>Bending</i>	21
2.2.7. Analisis <i>Pushover</i>	21
2.2.8. <i>Reserve Strength Ratio</i> (RSR) dan <i>System Redundancy</i> (SR)	22
2.2.9. Keandalan Pada Sistem Rekayasa	23
2.2.10. Metode Simulasi <i>Monte Carlo</i>	24
2.2.11 Keandalan Sistem	26
2.2.11.1. Keandalan Sistem Seri	26
2.2.11.2. Keandalan Sistem Paralel	26
2.2.12. <i>Subsidence</i>	27
2.2.13. <i>Settlement</i>	27
2.2.14. <i>Buckling</i>	28
2.2.15. <i>Plastic Hinged</i>	29

BAB III. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian	31
3.2. Prosedur Penelitian	33
3.3. Pengumpulan Data	34
3.3.1. Data Struktur	34
3.3.2. Data Lingkungan	37
3.3.2.1. Data Angin	37
3.3.2.2. Data Arus	37
3.3.2.3. Data Gelombang	38
3.3.2.4. Data Kedalaman Perairan	38
3.3.2.5. <i>Current Blockage Factor</i>	39
3.3.2.6. Faktor Kinematik Gelombang	39

3.3.3. Data Pembebanan.....	39
3.4. Moda Kegagalan	41

BAB IV. ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Pemodelan Struktur.....	45
4.2. Validasi Model	46
4.3. Analisis Statis <i>Inplace</i>	46
4.3.1. Faktor Pembebanan Struktur	47
4.3.2. Analisis <i>Unity Check of Member</i>	50
4.4. Analisa <i>Ultimate Strength</i>	52
4.5. Analisa Keandalan Struktur	59
4.5.1. Simulasi <i>Monte Carlo</i>	59
4.5.2. Peluang Kegagalan	60

BAB V. PENUTUP

5.1. Kesimpulan	65
5.2. Saran	65

DAFTAR PUSTAKA	67
-----------------------------	-----------

LAMPIRAN.....	69
----------------------	-----------

BIODATA PENULIS.....	93
-----------------------------	-----------

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1. Ilustrasi Penurunan Tanah	2
Gambar 2.1. <i>Offshore Structure</i>	11
Gambar 2.2. Proses Penilaian <i>Platform</i>	16
Gambar 2.3. Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular	19
Gambar 2.4. Gaya Tarik Aksial	19
Gambar 2.5. Gaya Tekan Aksial	20
Gambar 2.6. Fungsi Kerapatan Peluang Kapasitas X dan tuntutan Y	23
Gambar 2.7. Representasi Grafis Sebuah Sistem Seri Dengan n-komponen.....	26
Gambar 2.8. RBD Sistem Paralel Aktif Dengan n-komponen	27
Gambar 3.1. Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	31
Gambar 3.2. <i>Flowchart</i> Keandalan Dengan Simulasi <i>Monte Carlo</i>	32
Gambar 3.3. <i>Well and Production</i> KLB PHE ONWJ	35
Gambar 3.4. Arah Beban Lingkungan	36
Gambar 4.1. Model <i>Well and Production Tetrapod Platform</i> KLB PHE ONWJ..	45
Gambar 4.2. Grafik <i>Unity Check of Member</i> Kondisi Badai	51
Gambar 4.3. Grafik Hubungan RSR dan Kedalaman <i>Subsidence</i> Pada Arah 0^0 ...	53
Gambar 4.4. Hasil Analisa <i>Collapse</i> Arah Pembebanan 0^0 Kondisi <i>Subsidence</i> 6 meter	58
Gambar 4.5. <i>Collapse View</i> Arah Pembebanan 0^0 Kondisi <i>Subsidence</i> 6 meter ...	58
Gambar 4.6. <i>Reliability Block Diagram</i> (RBD) Kondisi <i>Subsidence</i> 6 meter	63
Gambar 4.7. Grafik Keandalan Sistem dan Kedalaman <i>Subsidence</i> Pada Arah 0^0	64

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Kriteria <i>Exposure Level</i>	18
Tabel 2.2. Harga RSR Kondisi Lingkungan <i>North Sea</i>	18
Tabel 3.1. Data Lokasi <i>Well and Production Platform</i> KLB PHE ONWJ	35
Tabel 3.2. Deskripsi <i>Well and Production Platform</i> KLB PHE ONWJ	35
Tabel 3.3. Kecepatan Angin Saat Kondisi Operasi dan Badai	37
Tabel 3.4. Data Kecepatan Arus Berdasarkan Kedalaman	37
Tabel 3.5. Data Gelombang	38
Tabel 3.6. Kedalaman Perairan ONWJ	38
Table 3.7. <i>Current Blockage Factor</i>	39
Tabel 3.8. Faktor Kinematik Gelombang.....	39
Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada <i>Platform</i> KLB PHE ONWJ.....	39
Tabel 3.10. Parameter Moda Kegagalan	43
Tabel 4.1. Validasi Model.....	46
Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai.....	47
Tabel 4.3. Hasil <i>Unity of Check</i> Kondisi Operasi	51
Tabel 4.4. Hasil RSR dan SR Analisa <i>Pushover</i>	53
Tabel 4.5. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Non Subsidence</i>	54
Tabel 4.6. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 1 m	54
Tabel 4.7. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 2 m	55
Tabel 4.8. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 3 m	55
Tabel 4.9. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 4 m	56
Tabel 4.10. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 5 m	56
Tabel 4.11. Hasil Analisa <i>Pushover</i> Setiap Arah Pembebanan Kondisi <i>Subsidence</i> 6 m	56

Tabel 4.12. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Non Subsidence</i>	60
Tabel 4.13. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 1 meter	60
Tabel 4.14. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 2 meter	61
Tabel 4.15. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 3 meter	61
Tabel 4.16. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 4 meter	61
Tabel 4.17. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 5 meter	62
Tabel 4.18. Keandalan Member Plastis 100% Kondisi <i>Subsidence</i> 6 meter	62
Tabel 4.19. Keandalan Sistem <i>Platform</i> KLB PHE ONWJ	64

DAFTAR NOTASI

σ_{act}	Tegangan yang terjadi (ksi)
σ_{act}	Tegangan izin (ksi)
σ	<i>Standard deviasi</i>
F	Pembebanan aksial
A	Luas penampang
σ_t	Tegangan tarik aksial akibat gaya yang terfaktor
f_t	Kekuatan tarik aksial (ksi)
$\gamma_{R,t}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tarik aksial
σ_c	Tegangan tekan aksial akibat gaya yang terfaktor
f_c	Kekuatan tarik aksial (ksi)
$\gamma_{R,c}$	Faktor ketahanan untuk tegangan tekan aksial
σ_b	Tegangan <i>bending</i> akibat gaya yang terfaktor
f_b	Kekuatan <i>bending</i> (ksi)
$\gamma_{R,b}$	Faktor ketahanan untuk tegangan <i>bending</i>
t	<i>Thickness</i>
Z_p	Modulus plastis
Z_e	Modulus elastis
σ_{by}	Tegangan <i>bending</i> arah y (<i>inplane</i>) akibat gaya yang terfaktor (ksi)
σ_{bz}	Tegangan <i>bending</i> arah z (<i>out of plane</i>) akibat gaya yang terfaktor (ksi)
D	Diameter luar
P	<i>Axial load</i> pada elemen member (kips)
P_n	<i>Ultimate axial capacity</i> (kips)
M_y	<i>Bending moment</i> pada elemen member arah sumbu-y (kips-in)
M_z	<i>Bending moment</i> pada elemen member arah sumbu-z (kips-in)
M_p	<i>Plastic bending moment</i> pada elemen member (kips-in)
V	<i>Coefficient of varians</i>
μ	<i>Mean</i>

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1	<i>Input Analisa Keruntuhan</i>
LAMPIRAN 2	<i>Output Analisa Inplace dan Pushover</i>
LAMPIRAN 3	Perhitungan Keandalan <i>Member</i> Dengan Simulasi <i>Monte Carlo</i>
LAMPIRAN 4	<i>Reliability Block Diagram</i> (RBD)
LAMPIRAN 5	Perhitungan Keandalan Sistem

BAB I

PENDAHULUAN

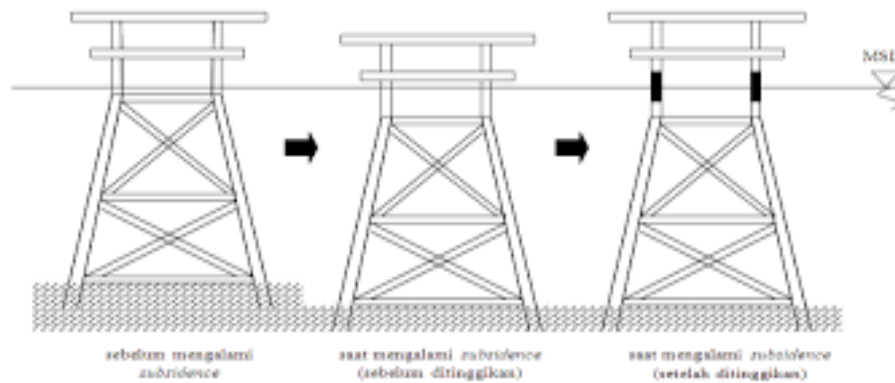
1.1 Latar Belakang

Minyak dan gas bumi merupakan sumber energi utama yang sangat dibutuhkan pada kehidupan manusia. Seiring peradaban manusia yang semakin canggih menuntut pemenuhan energi yang besar. Hal tersebut mendorong manusia untuk terus mengembangkan teknologi dalam proses eksplorasi, eksploitasi, produksi dan distribusi. Guna memperoleh cadangan minyak dan gas bumi khususnya di perairan Indonesia, maka diperlukan sarana dan prasarana khusus dalam menunjang eksploitasi minyak dan gas dilautan. Salah satu sarana terkait dengan eksploitasi minyak dan gas ini adalah anjungan lepas pantai. Anjungan lepas pantai merupakan salah satu teknologi yang menunjang dalam eksplorasi minyak bumi dan gas alam yang sedang diminati untuk mengatasi tingginya permintaan terhadap kedua jenis sumber daya alam tersebut didunia. Anjungan lepas pantai sendiri memiliki jenis yang beragam. Namun jenis *jacket platform* dinilai lebih ekonomis dan efisien dalam hal pembuatan dan perawatan dibanding dengan jenis anjungan lepas pantai lainnya. *Jacket platform* merupakan jenis struktur yang banyak digunakan di Indonesia karena kedalaman perairan di Indonesia pada umumnya tidak terlalu dalam, sehingga digunakan tipe *jacket platform* sebagai salah satu solusi dalam eksplorasi minyak bumi dan gas alam.

Setiap struktur selalu menerima beban, berdasarkan API RP 2A WSD 21st edition, jenis pembebanan yang harus dipertimbangkan dalam perancangan struktur bangunan lepas pantai meliputi beban mati (*Dead Loads*), beban hidup (*Live Loads*), beban lingkungan, beban konstruksi, beban pengangkatan dan reinstalasi. Pada bangunan lepas pantai sebagai faktor alam akan terdapat beberapa masalah yang dapat mempengaruhi integritas struktur seperti adanya *marine growth* dan terjadinya *scouring* serta *land subsidence* (Bunga, 2014).

Subsidence atau penurunan permukaan tanah disekitar *platform* terjadi akibat eksplorasi minyak bumi dan gas alam secara besar-besaran pada reservoir hidrokarbon yang sedang berproduksi. Salah satu hal yang sangat penting dalam suatu analisa struktur bangunan lepas pantai adalah melakukan analisa atas

kemampuan suatu struktur tersebut untuk memenuhi tujuan desain yang telah ditetapkan. Struktur dapat mengalami keruntuhan akibat *subsidence* yang sangat ekstrim. Oleh karena itu, perlu dilakukan analisa dampak *subsidence* yang dapat menyebabkan kerusakan pada struktur dan menjadi bencana pada lingkungan disekitar *platform*. Namun prediksi dan manajemen yang bagus dapat meningkatkan pengangkatan hidrokarbon dan efisiensi produksi (Gumbira, 2008)



Gambar 1.1 Ilustrasi penurunan tanah

Subsidence mempunyai dampak kematian yang lebih rendah dibandingkan kerusakan akibat gempa bumi dan longsor, tapi total kerusakan yang diakibatkannya setiap tahun kemungkinan melebihi kerusakan akibat bencana alam yang lain (Ayu, 2011). Perkiraan kejadian dari *subsidence* adalah sangat sulit dan ketidakpastian selalu ada, walaupun kondisi kemungkinan terjadinya telah diketahui.

Efek penurunan tanah pada *offshore structure* akan sangat berbahaya terutama pada ekofisik jika penurunan tanah terjadi 6 meter (Adbulazeez, 2007). Dari dampak negatif tersebut maka dilakukan perhitungan besarnya penurunan tanah yang dapat digunakan sebagai basis dalam mendesain bangunan lepas pantai sebagai proteksi yang penting (Hejmanowski). Penjelasan diatas menunjukkan bahwa pentingnya dilakukan sebuah analisa kekuatan struktur akibat terjadinya penurunan tanah (*subsidence*), sehingga dapat diketahui kelayakan struktur untuk kembali beroperasi. Oleh karena itu, salah satu cara untuk mengetahui apakah struktur *jacket platform* masih layak beroperasi dalam kondisi *subsidence* yaitu menggunakan analisa *statis* untuk mencari *unity check* terbesar, analisa *pushover*

untuk menghitung RSR *member* kritis, dan analisa keandalan untuk mengetahui keandalan sistem.

Struktur yang digunakan sebagai obyek studi kasus tugas akhir ini adalah *well and production tetrapod platform* KLB yang beroperasi di perairan Laut Jawa.

Pada tugas akhir ini dilakukan analisa *pushover* untuk mengetahui kekuatan *ultimate* struktur global dengan memberikan beban statis dalam arah lateral berupa beban gelombang, angin dan arus dalam kondisi badai. Beban statis ini ditngkatkan secara bertahap (*incremental*) hingga mencapai target *displacement* tertentu atau mencapai pola keruntuhan tertentu. Analisis *pushover* menunjukan perilaku struktur pada saat kondisi elastis, plastis dan sampai terjadinya keruntuhan pada elemen-elemen strukturnya (Nurdianti, 2013)

Selanjutya dilakukan analisis keandalan untuk mengetahui keandalan struktur yang mengalami *subsidence*. Analisis ini berguna untuk mengetahui keandalan pada struktur.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan yang akan dikaji dalam tugas akhir ini adalah:

1. Berapa besar kedalaman maksimum *subsidence* agar struktur *jacket platform* masih layak beroperasi sesuai *codes*?
2. Berapa besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada struktur dengan variasi kedalaman *subsidence*?
3. Bagaimana keandalan struktur akibat pengaruh kedalaman *subsidence* dalam kondisi *ultimate*?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai oleh penulis adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui besar kedalaman maksimum *subsidence* pada struktur *jacket platform* agar tetap layak operasi sesuai *codes*
2. Menghitung besar *Reserve Strength Ratio* (RSR) pada struktur dengan variasi kedalaman *subsidence*
3. Menghitung keandalan struktur akibat pengaruh kedalaman *subsidence* dalam kondisi *ultimate*

1.4 Manfaat

Manfaat yang diharapkan dari penulisan tugas akhir ini adalah dapat digunakan sebagai bahan pertimbangan untuk analisis *pushover* pada *jacket platform* akibat terjadinya *subsidence* sehingga struktur *jacket platform* masih layak beroperasi dan guna menghitung besar RSR. Analisis keandalan dalam penelitian ini untuk mengetahui keandalan dan peluang terjadinya kegagalan pada *platform*.

1.5 Batasan Masalah

Untuk memperjelas permasalahan tugas akhir ini, maka perlu adanya ruang lingkup pengujian atau asumsi-asumsi sebagai berikut :

- a. Analisa dilakukan pada *well and production structure jacket platform* KLB PHE ONWJ yang berjenis *jacket* 4 kaki yang beroperasi di perairan Jawa
- b. Pemodelan dan analisis struktur menggunakan software SACS
- c. Analisa dari struktur *jacket* ditinjau berdasarkan standar *code API RP-2A WSD 21st edition*
- d. *Settlement* dan *Scouring* diabaikan
- e. *Jacket* dan tanah mengalami penurunan tanah bersamaan
- f. Analisa keandalan dengan metode *Monte Carlo*
- g. Analisa keandalan hanya dilakukan pada arah pembebanan yang paling cepat membuat struktur *collapse*
- h. Analisa keandalan hanya dilakukan pada saat struktur *collapse* secara *bending*
- i. Analisis yang dipakai untuk analisis struktur adalah analisis statis
- j. Tidak diperhitungkan proses terjadinya *subsidence*
- k. Analisis pada kasus ini hanya memperhitungkan pengaruh *subsidence* terutama beban lateral
- l. Tanah tidak dimodelkan, dan tumpuan pondasi dianggap *fixed*
- m. Tidak meninjau biaya pada struktur

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan dalam penyusunan laporan tugas akhir ini terdiri atas lima bab yaitu sebagai berikut :

BAB I pendahuluan menjelaskan beberapa hal tentang penelitian dalam tugas akhir, yaitu masalah yang melatarbelakangi penelitian sehingga penting untuk dilakukan, perumusan masalah yang menjadi *problem* dan perlu dijawab, tujuan yang digunakan untuk menjawab permasalahan yang diangkat, manfaat apa yang didapat dari dilakukannya penelitian tugas akhir, batasan dari penelitian tugas akhir ini, serta penjelasan dari sistematika laporan yang digunakan dalam tugas akhir.

BAB II tinjauan pustaka dan dasar teori menjelaskan apa saja yang menjadi acuan dari penelitian tugas akhir ini serta dasar-dasar teori, persamaan-persamaan, serta *code* yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini. Materi yang dicantumkan pada bab ini antara lain: pengertian umum struktur anjungan pantai, konsep pembebanan, konsep tegangan, konsep analisis statis *inplace*, konsep analisis *pushover*, dan konsep keandalan dengan metode *Monte Carlo*.

BAB III metodologi penelitian menjelaskan urutan analisis yang dilakukan untuk menyelesaikan permasalahan dan melakukan validasi dalam tugas akhir ini, beserta pembahasan data.

BAB IV analisis hasil dan pembahasan menjelaskan tentang pemodelan struktur dengan menggunakan *software* yang mendukung serta berisi analisis yang dilakukan dalam tugas akhir ini, pengolahan dan serta membahas hasil yang telah didapat.

BAB V kesimpulan dan saran menjelaskan tentang kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisa pada tugas akhir ini dan saran-saran penulis sebagai pertimbangan dalam keperluan penelitian selanjutnya.

Daftar pustaka yang berisi referensi-referensi yang dipakai selama penelitian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA DAN DASAR TEORI

2.1 Tinjauan Pustaka

Analisa *ultimate strength* atau *pushover analysis* merupakan analisis statis non linier untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur dalam menerima beban maksimal hingga struktur mengalami keruntuhan (Robayasa, 2013). Metode yang dilakukan adalah dengan melakukan simulasi penambahan beban secara bertahap sampai struktur tersebut runtuh. Dari hasil tersebut akan diketahui *Reserve Strength Ratio* (RSR) atau rasio kekuatan cadangan struktur untuk mengetahui *jacket* memiliki cukup kekuatan dan stabilitas dalam menahan beban akibat *overstress* lokal yang melebihi tegangan ijin namun tidak sampai mengalami keruntuhan. Struktur dianalisis berdasarkan variasi kedalaman *subsidence* guna mengetahui keandalan apabila struktur mengalami perubahan dari desain perancangannya.

Analisis keruntuhan dengan penambahan beban pada struktur *fixed offshore platform* telah banyak dilakukan oleh mahasiswa Teknik Kelautan antara lain Arief Santoso Wijaya (2006) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Struktur *Jacket* Dengan Pendekatan LRFD dan Berbasis Keandalan”, Nasta Ina Robayasa (2013) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Struktur *Jacket Well Tripod Platform* Berbasis Resiko” dan Bunga Septya Winata Sari (2015) yang membahas “Analisa Kekuatan *Ultimate* Berbasis Resiko Pada Struktur *Jacket Wellhead Tripod Platform* Akibat Terjadinya *Scouring*” dan Fatih Azmi (2016) yang membahas “Analisa Resiko Keruntuhan Struktur *Breasting Dolphin* Akibat Penambahan DWT Kapal Tanker”. Para peneliti tersebut melakukan analisis keruntuhan bangunan laut dengan metode penambahan beban secara bertahap sampai struktur mengalami keruntuhan.

Selain itu, analisis struktur karena mengalami kondisi perubahan fisik *seabed* seperti terjadinya *subsidence* dilakukan oleh Sulung Fajar Samudra (2013) yang membahas “Analisis Pengaruh Peninggian *Platform* Akibat *Subsidence* Dengan Pendekatan Dinamis Berbasis Keandalan”, Handyta Anindysarathi (2013) yang membahas “Analisis Pengaruh Peninggian *Platform* Akibat *Subsidence* Dengan Pendekatan Statis Berbasis Resiko” dan Ayu Febrianita Santoso Putri (2011) yang membahas “Analisa *Ultimate Strength Fixed Platform* Pasca *Subsidence*”.

Berdasarkan penelitian di atas belum ada yang melakukan analisis keandalan kekuatan *ultimate* struktur berdasarkan perubahan fisik *seabed* yakni terjadinya *subsidence*. *Subsidence* adalah salah satu bentuk pergerseran tanah yang berbahaya yang umumnya disebabkan oleh aktifitas manusia yang mengakibatkan perubahan keadaan lingkungan. *Subsidence* mempunyai dampak kematian yang lebih rendah dibandingkan kerusakan akibat gempa bumi dan longsor, tapi total kerusakan yang diakibatkannya setiap tahun kemungkinan melebihi kerusakan akibat bencana alam yang lain (Ayu, 2011). Perkiraan kejadian dari *subsidence* adalah sangat sulit dan ketidakpastian selalu ada, walaupun kondisi kemungkinan terjadinya telah diketahui. Pada dasarnya penambahan beban diatas permukaan tanah menyebabkan lapisan tanah dibawahnya mengalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dalam pori. Namun akibat adanya aktivitas tektonik, pelapukan batuan dibawah tanah maupun eksplorasi minyak bumi dan gas alam secara besar-besaran pada reservoir sehingga dapat menyebabkan perubahan volume tanah. Berkurangnya volume tanah dapat menyebabkan penurunan lapisan tanah. Karena air pori didalam tanah berpasir dapat mengalir keluar dengan cepat, maka penurunan lapisan tanah dapat terjadi. *Subsidence* yang terjadi akibat penarikan tanah, eksplorasi minyak bumi dan gas telah diamati dan dipelajari sebelumnya. Beberapa contoh paling terkenal dari *subsidence* akibat penarikan tanah adalah Osaka, Jepang (pertama kali dicatat pada tahun 1885), London, Inggris (pertama kali dicatat tahun 1865), dan Mexico City, Meksiko (pertama kali dicatat pada tahun 1929). Salah satu contoh awal *subsidence* akibat eksplorasi minyak bumi dan gas adalah Goose Creek minyak lapangan, Texas, Amerika Serikat (pertama kali dicatat pada tahun 1918), yang dijelaskan oleh Pratt dan Johnson (1926). Dengan demikian, fenomena *subsidence* telah dikenal dan dipelajari oleh banyak peneliti. Secara fisik jelas dan sepenuhnya diakui bahwa penurunan ini disebabkan oleh pemadatan batuan reservoir akibat peningkatan *stress* yang terjadi karena pengurangan tekanan air pori fluida. Selain itu Pratt dan Johnson (1926) menunjukan bahwa salah satu faktor yang penting dalam formasi dengan pasir longgar dan granular yang terkonsolidasi adalah ekstraksi pasir.

Penurunan tanah alami terjadi secara regional yaitu meliputi daerah yang luas atau terjadi secara lokal yaitu hanya sebagian kecil permukaan tanah. Hal ini biasanya disebabkan oleh adanya rongga di bawah permukaan tanah, biasanya terjadi di daerah yang berkapur (Whittaker and Reddish, 1989). Berbagai penyebab terjadinya penurunan tanah alami bisa digolongkan menjadi :

1. Siklus geologi.
2. Sedimentasi daerah cekungan (*sedimentary basin*).
3. Adanya rongga dibawah permukaan tanah sehingga atap rongga runtuh dan hasil runtuh tiap rongga membentuk lubang yang disebut *sink hole*.
4. Adanya aktifitas vulkanik dan tektonik.

Secara garis besar penurunan tanah bisa disebabkan oleh beberapa hal antara lain (Whittaker and Reddish, 1989), sebagai berikut :

1. Penurunan muka tanah alami (*natural subsidence*) yang disebabkan oleh proses-proses geologi seperti aktifitas vulkanik dan tektonik, siklus geologi, adanya rongga dibawah permukaan tanah dan sebagainya.
2. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh pengambilan bahan cair dari dalam tanah seperti air tanah atau minyak bumi.
3. Penurunan muka tanah yang disebabkan oleh adanya beban-beban berat diatasnya seperti struktur bangunan sehingga lapisan-lapisan tanah dibawahnya mengalami kompaksi/konsolidasi. Penurunan muka tanah ini sering juga disebut dengan *settlement*
4. Penurunan muka tanah akibat pengambilan bahan padat dari tanah (aktifitas penambangan).

Berdasarkan tinjauan berbagai macam pustaka, faktor-faktor penyebab terjadinya penurunan muka tanah dapat didefinisikan, sebagai berikut :

1. Pengambilan air tanah yang berlebihan (Burbey J.T., 2005).
2. Penurunan karena beban bangunan (Quaxiang, 2001).
3. Konsolidasi alamiah lapisan tanah (Wei, Q., 2006).
4. Gaya-gaya tektonik (Chang, C.P., 2005).
5. Ekstraksi gas dan minyak bumi (Odijk, D., 2005).

6. Penambangan bawah tanah (Rizos, C., 2007).
7. Ekstraksi lumpur (Deguchi, T., 2007).
8. Patahan kerak bumi (Rahtje et al., 2003).
9. Konstraksi panas bumi di lapisan litosfer (Hamdani et al., 1994).

Hal yang sangat penting dalam analisis suatu struktur bangunan lepas pantai yang mengalami modifikasi/penambahan struktur yakni untuk mendapatkan kapasitas maksimal struktur dalam menerima beban (Nuriman, 2013). Analisis tersebut sangat penting dilakukan, selain untuk memenuhi target dan standar desain yang telah ditetapkan, juga untuk mengetahui kelayakan maupun keamanan suatu *platform* yang telah banyak digunakan oleh industri migas dalam eksplorasi migas.

Menurut Hardiansah (2012), pada analisa kekuatan *ultimate* dapat diketahui plastisitas dari struktur *jacket platform* yang terjadi apabila tegangan yang terjadi pada struktur melebihi tegangan yang diijinkan (*yield stress*) dan deformasi yang terjadi bersifat permanen (tidak dapat kembali ke bentuk semula). Tidak ada penambahan beban yang dapat melebihi kekuatan *ultimate*. Hal ini untuk mengurangi resiko terjadinya kegagalan dimana penyebab kegagalan bisa terjadi secara langsung ataupun berjalan perlahan seiring bertambahnya beban hingga mengalami *overload*.

2.2 Dasar Teori

2.2.1 Offshore Structure

Anjungan lepas pantai telah berkembang yang dibuktikan dengan adanya berbagai jenis *offshore structure* di lepas pantai yang berfungsi sebagai *production platform*, *wellhead platform*, *service platform*, maupun fungsi yang lain. Beberapa konsep struktur bangunan lepas pantai, antara lain :

a. Fixed Offshore Structure (Struktur Terpancang)

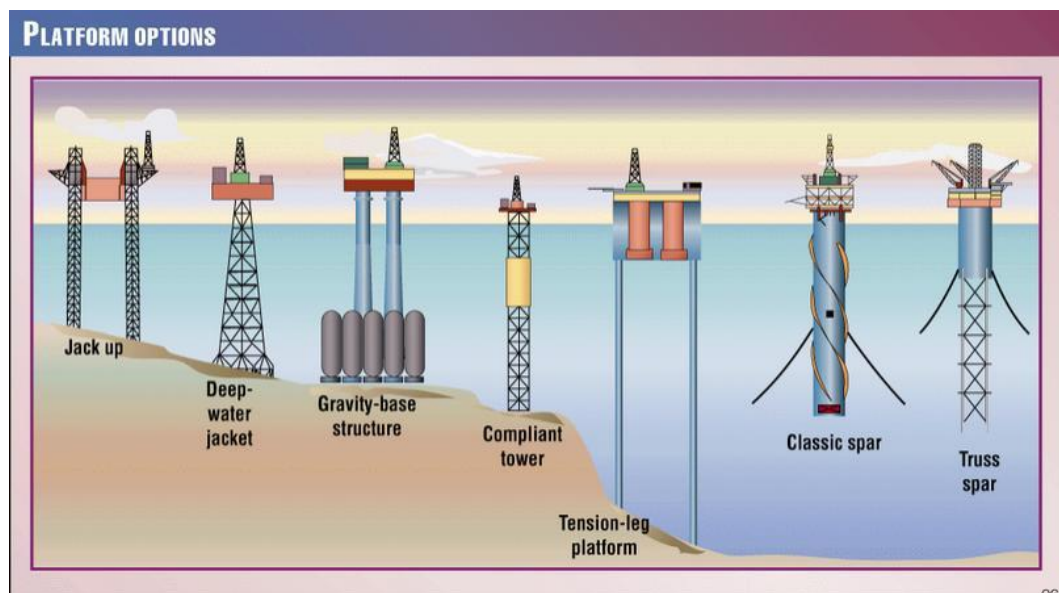
Pada konstruksi terpancang, beban vertikal, horizontal dan momen dapat ditransformasikan oleh konstruksi pondasi ke dasar laut. Tipe ini merupakan tipe paling tua dan paling banyak dibangun. Salah satu kelemahannya adalah biaya produksi dan biaya instalasi struktur baja akan naik secara eksponensial terhadap kedalaman. Contoh nya yaitu *jacket*, dan *jack up platform*.

b. Floating Offshore Structure (Struktur Terapung)

Tipe ini mempunyai karakter bergerak mengikuti gerakan gelombang. Seringkali anjungan ini dihubungkan dengan dasar laut menggunakan peralatan mekanik *mooring line* atau *dynamic positioning*. Untuk anjungan tipe ini yang utama adalah mobilitas dan kemampuannya mengantisipasi gerakan akibat gelombang dan arus laut.

c. *Compliant Structure* (Struktur Lentur)

Anjungan tipe ini bertujuan untuk memenuhi persyaratan fungsi-fungsi khusus seperti faktor ekonomi dan faktor teknis. Prinsip perencanaan umum anjungan struktur lentur adalah mendapatkan solusi optimal terhadap persyaratan-persyaratan fungsi-fungsi tersebut. Beberapa contoh dari tipe ini diantaranya *Tension Leg Platform*.



Gambar 2.1 *Offshore Structure* (Prastianto, 2016)

2.2.2. *Fixed Offshore Structure*

Tipe anjungan ini memanfaatkan kekuatan dari kakinya yang didukung oleh konfigurasi *member (brace)* dan *pile* yang tertancap sangat dalam agar mampu menahan beban vertikal akibat beban fungsional, berat struktur dan fasilitas pendukung serta menahan beban horizontal dan momen lentur akibat beban lingkungan (angin, gelombang, arus, dan lain-lain). *Jacket* dan *Jack Up Platform* yang merupakan anjungan lepas pantai terpancang yang mulai digunakan sejak awal industri lepas pantai, struktur ini dipancang dengan *pile* yang mempunyai

lateral stiffness untuk menahan beban gelombang, arus, angin pada kedalaman air sekitar 0-400 meter (Prihantika, 2013).

Jacket platform merupakan struktur terpancang (*fixed structure*) yang terdiri atas beberapa komponen utama yaitu :

1. *Deck / Topside* berfungsi sebagai penyokong peralatan, pengeboran dan kegiatan yang dikerjakan di atas air. *Deck* berada pada ketinggian tertentu di atas MSL. *Deck* dibagi-bagi menjadi beberapa tingkat sesuai dengan kebutuhan dan fungsi yang dibutuhkan.
2. *Jacket* berupa konstruksi pipa tubular yang sebagian besar terendam air hingga dasar laut. Berfungsi untuk melindungi *pile* agar tetap berada pada posisinya, menyokong *deck* dan melindungi *conductor* serta menyokong sub-struktur lainnya seperti *boat landing*, *barge bumper* dan lain-lain. Elemen utama struktur *jacket* antara lain *braces*, *joint*, *jacket leg*, *riser*, dan *deck leg*.
3. *Pile* diletakkan didalam kaki *jacket* akan dipancangkan pada dasar laut. Antara *pile* dengan *jacket* terkadang dilakukan *grouting* untuk menambah kekakuan dan agar *pile* dan *jacket* menyatu. Fungsi utama tiang pancang adalah sebagai pondasi struktur *jacket* untuk meneruskan beban aksial dan lateral yang ditransformasikan ke tanah. Untuk itu selain karakteristik pondasi *jacket platform* selain ditentukan oleh perancangan tiang pancang itu sendiri juga ditentukan oleh kondisi tanah yang ada (*soil mechanics*).

2.2.3. Teori Pembebanan

Pada suatu proses perancangan bangunan lepas pantai untuk menentukan kemampuan kerja suatu struktur akan dipengaruhi oleh beban yang terjadi pada bangunan tersebut. Sehingga perancang harus menentukan akurasi atau ketepatan beban yang akan diterapkan dalam perancangan bangunan lepas pantai, adalah sebagai berikut (Soedjono, J J, 1999) :

1. *Dead Load*

Beban mati adalah beban dari komponen-komponen kering serta beban-beban dari peralatan, perlengkapan dan permesinan yang tidak berubah dari mode operasi pada bangunan lepas pantai. Beban mati tersebut dapat dikelompokkan sebagai berikut :

- a. Berat dari struktur bangunan lepas pantai seperti tiang pancang, *deck*, *jacket*, *railing*
- b. Beban peralatan permanen dan pelengkap yang termuat dalam *platform*
- c. Beban akibat gaya-gaya hidrodinamis yang bekerja pada struktur di bawah sarat air termasuk tekanan eksternal dan cadangan daya apung

2. *Live Load*

Beban hidup adalah beban yang terjadi pada *platform* atau bangunan lepas pantai selama dipakai/berfungsi dan berubah dari mode operasi satu ke mode operasi yang lain. Adapun yang termasuk beban hidup dapat dikategorikan sebagai berikut :

- a. Berat peralatan permanen pengeboran dan produksi
- b. Berat peralatan pendukung pengeboran dan produksi
- c. Berat fasilitas-fasilitas akomodasi, *heliport* dan fasilitas penunjang awak lainnya seperti peralatan selam, keselamatan dan sebagainya yang dapat ditambahkan atau dihilangkan dari *platform*
- d. Berat cairan dan konsumsi logistik dalam tangki penyimpanan
- e. Beban akibat gaya-gaya yang disertakan dalam operasi struktur seperti alat dan material pengeboran, kapal angkut, penambatan kapal dan beban helikopter
- f. Beban akibat gaya-gaya yang disertakan dalam operasi struktur seperti *crane*. Gerakan *crane* terbatas dan dipengaruhi oleh *deadload*nya karena termasuk struktur tetap

3. *Accidental Load*

Beban kecelakaan merupakan beban yang tidak dapat diduga sebelumnya yang mungkin terjadi pada suatu bangunan lepas pantai. Beban kecelakaan ini terjadi akibat :

- Tabrakan dengan kapal pemandu
- Putusnya tali katrol *crane*
- Putusnya tali tambat rantai jangkar, tali baja pengikat katrol
- Kebakaran, letusan, *blow out*
- Benda yang jatuh mengenai *deck*

4. *Environmental Load*

Beban lingkungan adalah beban yang terjadi karena dipengaruhi oleh fenomena alam di lokasi suatu bangunan lepas pantai dioperasikan seperti angin, arus, gelombang, gempa, salju, es, dan gerakan bumi. Beban lingkungan juga termasuk variasi tekanan hidrostatik dan cadangan daya apung pada bagian struktur karena perubahan sarat air akibat gelombang dan pasang surut. Beban lingkungan harus diantisipasi dari segala arah meskipun kondisi spesifik lingkungan asli belum diketahui secara pasti.

2.2.4 Analisa *Inplace*

Analisa *inplace* merupakan analisa statis struktur dengan mempertimbangkan *unity check* disyaratkan kurang dari 1 sebagai batas maksimum yang dapat diterima struktur pada 2 kondisi pembebanan. Kondisi pembebanan tersebut antara lain :

- Kondisi Operasi

Pada kondisi ini, anjungan beroperasi secara normal sehingga struktur menerima seluruh beban kerja yang ada. Beban lingkungan yang terjadi pada struktur seperti beban gelombang, angin dan arus diambil harga ekstrim untuk periode ulang 1 tahun.

- Kondisi Badai

Kondisi ini merupakan kondisi terjadinya badai pada lokasi struktur. Pada kondisi ini tidak akan ada beban *work over rig live*, dan beban hidup yang bekerja pada tiap level *deck* tereduksi 25%. Selain itu, *crane* dianggap tidak bekerja akibatnya, hanya ada nilai beban *crane* vertikal saja. *Allowable stress* dari tiap batang dinaikan harganya sebesar 133% menurut peraturan dari AISC.

Platform harus didesain untuk kondisi pembebanan yang akan menghasilkan efek paling buruk terhadap struktur. Kondisi pembebanan harus meliputi kondisi lingkungan yang dikombinasikan dengan beban hidup dan beban mati yang sesuai melalui kondisi sebagai berikut :

- a. Kondisi beban lingkungan operasional dengan beban mati dan beban hidup maksimum berdasarkan kondisi operasi normal pada anjungan

- b. Kondisi beban lingkungan operasional dengan beban mati dan beban hidup minimum berdasarkan kondisi operasi normal pada anjungan
- c. Kondisi beban lingkungan ekstrim dengan beban mati dan beban hidup maksimum berdasarkan kondisi ekstrim pada najungan
- d. Kondisi beban lingkungan ekstrim dengan beban mati dan beban hidup minimum berdasarkan kondisi ekstrim pada anjungan

Unity check (rasio tegangan) merupakan perbandingan antara tegangan aktual struktur dengan tegangan ijinnya seperti berikut :

$$UC = \frac{\sigma_{act}}{\sigma_{all}} \quad (2.1)$$

Dengan, $UC = \text{Unity check member}$

σ_{act} = Tegangan yang terjadi (ksi)

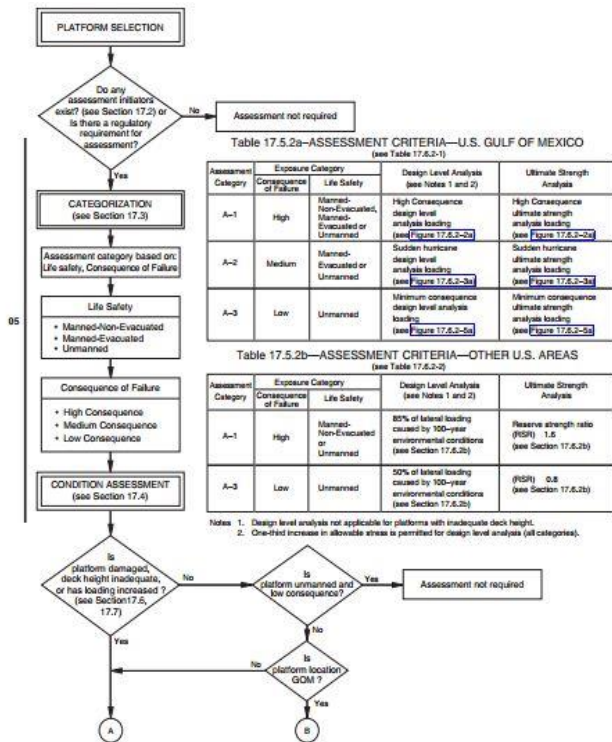
σ_{all} = Tegangan izin (ksi)

2.2.5. Kriteria Penilaian Platform (Platform Assessment)

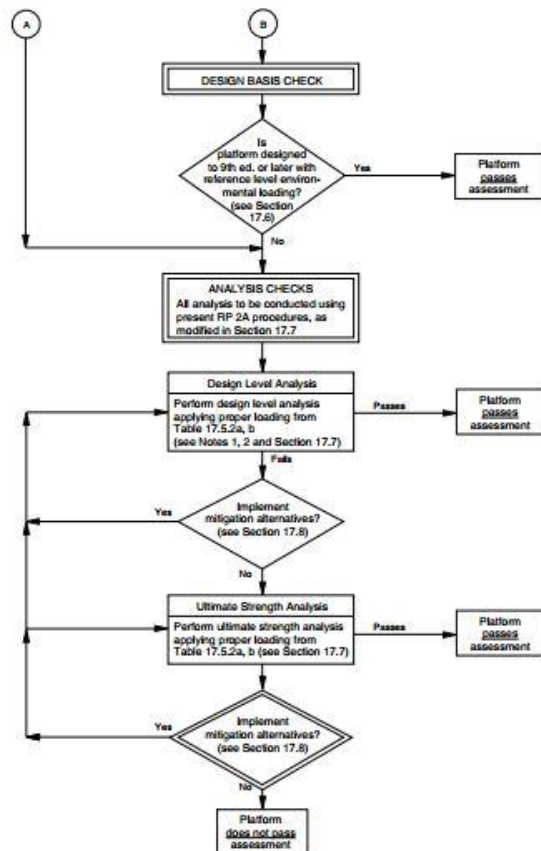
Dalam penilaian sebuah *platform* yang sudah ada, menurut API RP 2A

WSD terdapat 6 komponen proses penilaian yaitu :

1. Pemilihan anjungan (*platform selection*)
2. Pengkategorian (*categorization*)
3. Penilaian kondisi (*condition assessment*)
4. Cek basis desain (*design basis check*)
5. Analisis (*analysis check*)
6. Pertimbangan mitigasi (*consideration of mitigations*)



Gambar 2.2 Proses Penilaian Platform (API RP 2A WSD)



Gambar 2.2 Proses Penilaian Platform (Lanjutan)

Kategori untuk keamanan dan keselamatan berdasarkan ISO 19902 adalah sebagai berikut :

- S-1 *High Consequence*, adanya personel tanpa evakuasi (*manned non evacuated*)

Anjungan secara kontinu dihuni dan mempunyai fasilitas untuk kelangsungan hidup para personilnya. Kategori ini meliputi *platform drilling* dan atau produksi, *storage* atau *platform*. Pada umumnya *platform* yang besar dan berada pada laut dalam yang menunjang fasilitas utama atau *pipeline* dengan *flowrate* yang tinggi.

- S-2 *Medium Consequence*, adanya personel dengan evakuasi (*manned evacuated*)

Anjungan secara umum dihuni kecuali ketika terjadi peristiwa alam dimana semua personil akan dievakuasi. Kategori ini meliputi *platform drilling* dan atau produksi ukuran sedang, *living quarter*. Kategori ini secara umum banyak diterapkan pada *platform* yang menunjang fasilitas produksi secara penuh dengan *flowrate* yang sedang.

- S-3 *Low Consequence*, tidak ada personel (*unmanned*)

Anjungan yang tidak dapat dikategorikan dihuni dan tidak dapat dievakuasi atau dihuni dan dapat dievakuasi. Kadangkala anjungan ini dihuni tetapi tidak secara berkala. Pada umumnya yang termasuk kategori ini hanya *caisson* dan pelindung sumur. Kategori ini mempunyai potensi yang sangat kecil untuk kegagalan sumur karena terdapat *valve* pengaman yang ada di *sub-surface* dan sumur ditutup. Dan karena ukurannya yang kecil dan fasilitasnya terbatas, kerusakan yang dihasilkan dari kegagalan yang *platform* akan sangat rendah sekali.

Kategori untuk konsekuensi keandalan (*consequence of failure*) :

C-1 : kegagalan dengan konsekuensi tinggi (*high consequence of failure*)

C-2 : kegagalan dengan konsekuensi menengah (*medium consequence of failure*)

C-3 : kegagalan dengan konsekuensi rendah (*low consequence of failure*)

Tabel 2.1. Kriteria *Exposure Level* (ISO 19902)

<i>Life Safety Category</i>	<i>Consequence category</i>		
	<i>C1 High Consequence</i>	<i>C2 Medium Consequence</i>	<i>C3 Low Consequence</i>
<i>S1 Manned non evacuated</i>	L1	L1	L1
<i>S2 Manned evacuated</i>	L1	L2	L2
<i>S3 Unmanned</i>	L1	L2	L3

Tabel 2.2. Harga RSR Kondisi Lingkungan *North Sea*

<i>Level</i>	<i>Exposure Category</i>	<i>Ultimate Strength Analysis</i>
L – 1	<i>Manned Non evacuated</i>	<i>Reserve Strength Ratio $\geq 1,92$</i>
	<i>Unmanned</i>	<i>Reserve Strength Ratio $\geq 1,85$</i>
L – 2	<i>Unmanned</i>	<i>Reserve Strength Ratio $\geq 1,49$</i>

2.2.6. Konsep Tegangan

Tegangan timbul akibat adanya tekanan, tarikan, bengkokan, dan reaksi. Pada pembebanan tarik terjadi tegangan tarik. Pada pembebanan tekan terjadi tegangan tekan, begitu pula pada pembebanan yang lain.

2.2.6.1. Konsep Tegangan Normal

Tegangan normal terjadi akibat adanya reaksi yang diberikan pada benda sehingga akan timbul tegangan yang menyatakan aksi terbesar yang terjadi secara internal antara elemen-elemen. Analisa tegangan dengan metode statis ini berdasarkan Hukum Hooke yang menganggap bahan bersifat elastis linier, sehingga prinsip superposisi bisa digunakan untuk menggabungkan tegangan akibat berbagai sistem pembebanan (Popov, 1993).

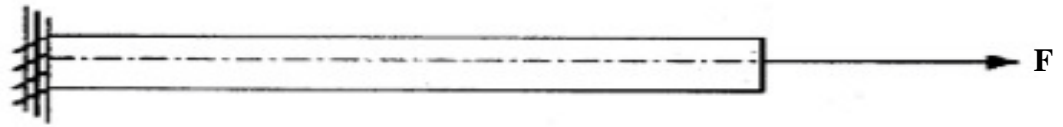
Jika suatu batang tubular yang mengalami pembebanan aksial sebesar F dengan luas penampang A . Sehingga tegangan yang terjadi pada batang sesuai dengan Persamaan 2.2. sebagai berikut :

$$\sigma = \frac{F}{A} \quad (2.2)$$

Dengan, σ = Tegangan

F = Pembebanan aksial

A = Luas Penampang



Gambar 2.3 Pembebanan Aksial Pada Batang Tubular (Popov, 1993)

2.2.6.2. Tegangan Tarik Aksial

Apabila sepasang gaya tarik aksial menarik suatu batang, dan akibatnya batang ini cenderung menjadi meregang atau bertambah panjang. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tarik pada batang di suatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya. Tegangan tarik aksial yang diizinkan σ_t menurut ISO 19902, untuk *member* silinder yang mengalami beban tarik aksial dapat ditentukan dengan :

$$\sigma_t \leq \frac{f_t}{\gamma_{R,t}} \quad (2.3)$$

Dengan, σ_t = Tegangan tarik aksial akibat gaya yang terfaktor

f_t = Kekuatan tarik aksial (ksi)

$\gamma_{R,t}$ = 1,05 ; Faktor ketahanan untuk tegangan tarik aksial



Gambar 2.4 Gaya Tarik Aksial

2.2.6.3. Tegangan Tekan Aksial

Apabila sepasang gaya tekan aksial mendorong suatu batang, akibatnya batang ini cenderung untuk memperpendek atau menekan batang tersebut. Maka gaya tarik aksial tersebut menghasilkan tegangan tekan pada batang disuatu bidang yang terletak tegak lurus atau normal terhadap sumbunya. Tegangan tekan aksial yang diizinkan σ_t menurut ISO 19902, untuk *member* silinder yang mengalami beban tarik aksial dapat ditentukan dengan :

$$\sigma_c \leq \frac{f_c}{\gamma_{R,c}} \quad (2.4)$$

Dengan, σ_c = Tegangan tekan aksial akibat gaya yang terfaktor

f_c = Kekuatan tarik aksial (ksi)

$\gamma_{R,c} = 1,18$; Faktor ketahanan untuk tegangan tekan aksial



Gambar 2.5 Gaya Tekan Aksial

2.2.6.4. Tegangan Lentur

Merupakan tegangan yang diakibatkan oleh bekerjanya momen lentur pada benda. Sehingga pelenturan benda disepanjang sumbunya menyebabkan sisi bagian atas tertarik, karena bertambah panjang dan sisi bagian bawah tertekan, karena memendek. Dengan demikian struktur material benda diatas sumbu akan mengalami tegangan tarik, sebaliknya dibagian bawah sumbu akan menderita tegangan tekan. Sedangkan daerah diantara permukaan atas dan bawah, yaitu yang sejajar dengan sumbu benda tetap, tidak mengalami perubahan, ini disebut sebagai bidang netral. Tegangan izin *bending* σ_b menurut ISO 19902, untuk *member* silinder yang mengalami beban *bending* ditentukan dengan :

$$\sigma_b \leq \frac{f_b}{\gamma_{R,b}} \quad (2.5)$$

$$f_b \leq \left(\frac{Z_p}{Z_c}\right) f_y \quad , \text{ untuk } \frac{f_y D}{E t} \leq 0,0517 \quad (2.6)$$

$$f_b \leq \left[1,13 - 2,58 \left(\frac{f_y D}{E t}\right)\right] \left(\frac{Z_p}{Z_c}\right) f_y \quad , \text{ untuk } 0,0517 < \frac{f_y D}{E t} \leq 0,1034 \quad (2.7)$$

$$f_b \leq \left[0,94 - 0,76 \left(\frac{f_y D}{E t}\right)\right] \left(\frac{Z_p}{Z_c}\right) f_y \quad , \text{ untuk } 0,1034 < \frac{f_y D}{E t} \leq 120 \frac{f_y}{E} \quad (2.8)$$

$$Z_p = \frac{1}{6} [D^3 - (D - 2t)^3] \quad (2.9)$$

$$Z_p = \frac{\pi}{64} [D^4 - (D - 2t)^4] / \left(\frac{D}{2}\right) \quad (2.10)$$

Dengan, σ_b = Tegangan *bending* akibat gaya yang terfaktor

f_b = Kekuatan *bending* (ksi)

$\gamma_{R,b} = 1,05$; faktor ketahanan untuk tegangan *bending*

- D = *Outside diameter*
t = *Thickness*
 Z_p = Modulus plastis
 Z_e = Modulus elastis

2.2.6.5. Kombinasi Tegangan Tarik Aksial dan *Bending*

Untuk *member* silinder yang mengalami kombinasi antara tegangan tarik aksial dan *bending* menurut ISO 19902 ditentukan sebagai berikut :

$$\frac{\gamma_{Rt}\sigma_t}{f_t} + \frac{\gamma_{Rb}\sqrt{\sigma_{by}^2 + \sigma_{bz}^2}}{f_b} \leq 1,0 \quad (2.11)$$

Dengan, σ_{by} = Tegangan *bending* arah y (*inplane*) akibat gaya yang terfaktor (ksi)

σ_{bz} = Tegangan *bending* arah z (*out of plane*) akibat gaya yang terfaktor (ksi)

2.2.6.6. Kombinasi Tegangan Tekan Aksial dan *Bending*

Untuk *member* silinder yang mengalami kombinasi antara tegangan tekan aksial dan *bending* menurut ISO 19902 ditentukan sebagai berikut:

$$\frac{\gamma_{Rc}\sigma_c}{f_c} + \frac{\gamma_{Rb}\sqrt{\sigma_{by}^2 + \sigma_{bz}^2}}{f_b} \leq 1,0 \quad (2.12)$$

Dengan, σ_{by} = Tegangan *bending* arah y (*inplane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

σ_{bz} = Tegangan *bending* arah z (*out of plane*) akibat gaya terfaktor (ksi)

2.2.7. Analisa *Pushover*

Definisi *pushover* dalam SACS adalah analisis tiga dimensi, *non-linear*, *large-displacement*, dan *static finite element*. Konsep dasar dari analisis *plastic collapse* dalam software SACS adalah sebagai berikut :

“Beban pada struktur ditingkatkan secara bertahap. Untuk setiap peningkatan beban, nodal *displacement* dan gaya pada elemen dihitung dan selanjutnya dibentuk matrik kekakuan yang baru. Pada saat tegangan suatu elemen mencapai tegangan leleh, sifat plastis dari elemen diperkenalkan. Adanya sifat plastis pada elemen akan mengurangi kekakuan struktur dan beban akibat peningkatan selanjutnya akan didistribusikan kembali pada elemen didekatnya ke

elemen yang telah mencapai sifat plastis. Fenomena ini terus berlanjut sampai struktur runtuh secara keseluruhan.”

Analisis ini dilakukan untuk mengetahui kekuatan maksimum struktur dalam menahan beban yang terjadi. Pada analisis ini, elemen-elemen struktur dibiarkan untuk menerima beban yang melebihi kapasitasnya, elemen-elemen dapat meneruskan beban untuk mencapai kapasitasnya, tergantung pada kekakuan elemen dalam rentang *post elastic-plastis*. Ketika beban mencapai batas *yield strength* material, struktur tidak serta merta mengalami kegagalan seketika, sehingga peristiwa tersebut tidak menggambarkan kapasitas dari struktur. Hal ini mengindikasikan bahwa struktur mempunyai cadangan kekuatan (*reserve strength*) diatas kekuatan yang ditentukan dalam desain konvensional.

Salah satu cara mengidentifikasi *ultimate strength* yaitu dengan melakukan analisa *pushover* yang merupakan analisa statis non linier untuk mengetahui besarnya kapasitas struktur dalam menerima beban. Dimana beban yang bekerja pada struktur akan ditambah secara bertahap sampai struktur mengalami keruntuhan. Ada dua jenis *load case* dalam pemodelan beban analisa *pushover*. *Load case* pertama yaitu beban vertikal yang bekerja pada struktur. Kemudian *load case* kedua adalah beban horizontal yang merupakan beban lingkungan dalam kondisi ekstrim (Hartanto, 2012).

2.2.8. Reserve Strength Ratio (RSR) dan System Redundancy (SR)

Keselamatan dari *platform* modern dijamin dengan faktor keamanan baik secara eksplisit maupun implisit. Kode desain telah *memberikan* faktor keamanan terhadap kegagalan elemen individu. Struktur *jacket platform* mempunyai *Reserve Strength Ratio* (RSR) yang berbeda untuk setiap arah pembebanan dan RSR yang diambil adalah yang paling kecil/minimum. Secara dasar analisa ini dilakukan dengan cara menetapkan beban-beban yang akan digunakan biasanya beban vertikal adalah beban yang dianggap tetap sedangkan beban lingkungan adalah beban yang dinaikkan (*incremental load*), beban lingkungan dalam kondisi ekstrim ini dinaikkan secara perlahan sampai batas kekuatan dari struktur tercapai. RSR dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.13 sebagai berikut :

$$RSR = \frac{\text{Beban struktur collapse}}{\text{Beban kondisi awal}} \quad (2.13)$$

Selain perhitungan RSR, perhitungan *system redundancy* (SR) adalah salah satu aspek untuk kriteria *assessment* suatu anjungan lepas pantai terpancang. SR merupakan rasio beban saat struktur *collapse* dengan beban saat pertama kali terjadi kegagalan *member* (Bomel, 2003) dengan rumus sebagai berikut :

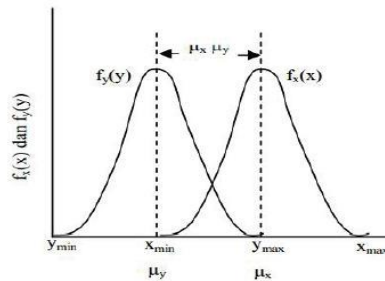
$$SR = \frac{\text{Beban pada saat struktur collapse}}{\text{Beban pada saat 1 member failure}} \quad (2.14)$$

2.2.9. Keandalan Pada Sistem Rekayasa

Sistem dari keandalan pada dasarnya dapat ditunjukkan sebagai problematika antara *demand* (tuntutan/beban) dan *capacity* (kapasitas/kekuatan). Secara tradisonal didasarkan atas *safety factor* (angka keamanan) yang sesuai. Ukuran konvensional untuk angka keamanan adalah perbandingan antar asumsi harga nominal kapasitas X' dan beban Y' yang dirumuskan sebagai berikut:

$$Z' = \frac{X'}{Y'} \quad (2.15)$$

Mengingat harga nominal dari kapasitas X' dan beban Y' tidak dapat ditentukan dengan pasti, fungsi-fungsi kapasitas dan beban perlu dinyatakan sebagai peluang. Dengan demikian, angka keamanan dinyatakan dengan perbandingan $Z = X / Y$ dari 2 variabel acak X dan Y



Gambar 2.6 Fungsi Kerapatan Peluang Kapasitas X dan tuntutan Y (Rosyid, 2007)

Ketidakmampuan suatu sistem untuk memenuhi tuntutan dan tugasnya, yang diukur dengan peluang kegagalan dapat dihubungkan dengan bagian dari distribusi angka keamanan yang nilainya kurang dari satu, yaitu porsi dalam dimana $Z = X / Y$ kurang dari 1. Peluang Kegagalan sistem, P_f diberikan dengan persamaan:

$$P_f = P [Z \leq 1] = F_Z (1) \quad (2.16)$$

Dengan F_Z adalah fungsi distribusi kumulatif dari Z dengan pernyataan lain, peluang sistem untuk tidak gagal (keandalan) adalah:

$$K = 1 - P_f = P [Z > 1] = 1 - F_z (1) \quad (2.17)$$

Ketika distribusi peluang bersama (*joint probability distribution*) dari X dan Y diketahui, keandalan sebuah sistem dapat dihitung berdasarkan fungsi distribusi kumulatif dari X/Y. Peluang kegagalan nol ($P_f = 0$) dan keandalan 100 ($K = 1$) hanya terjadi ketika tuntutan maksimum Y_{\max} tidak melewati kapasitas minimum X_{\min} , sehingga kedua distribusi tidak saling *overlap*.

2.2.10. Metode Simulasi *Monte Carlo*

Simulasi adalah teknik untuk mengetahui perilaku model yang menghasilkan simulasi data yang harus diperlakukan secara statik untuk memprediksi perilaku sistem ke depannya. Dalam arti luas, simulasi memiliki ruang lingkup khusus, Menurut Rosyid (2007), ketika suatu sistem yang sedang dipelajari mengandung variable acak, maka metode simulasi *Monte Carlo* dapat digunakan untuk memecahkan persoalan ini. Karakteristik pokok simulasi *Monte Carlo* adalah bahwa simulasi ini, suatu set nilai tiap-tiap variabel (satu nilai untuk setiap variabel) dari suatu sistem disimulasikan berdasarkan distribusi peluangnya, misalnya berdasarkan fungsi kerapatan peluang tiap-tiap variabel tersebut. Untuk setiap set ini, respon atau kinerja system dihitung berdasarkan fungsi kinerja dari sistem tersebut.

Perhitungan respon atau kinerja sistem ini bersifat deterministik untuk suatu set nilai dari setiap variabel. Prosedur ini diulang-ulang sampai diperoleh sekumpulan nilai dari respon atau kinerja sistem tersebut, sehingga pada akhir simulasi akan diperoleh sekumpulan data respon atau kinerja sistem. Sekumpulan data ini dapat dianggap sebagai sampel data. Dengan analisis statistik dapat dilakukan untuk menentukan rata-rata, simpangan baku, bahkan distribusi dari respon atau kinerja sistem tersebut.

Unsur pokok yang diperlukan didalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebuah *random number generator*. Hal ini dikarenakan secara teknis, prinsip dasar metode simultan *Monte Carlo* sebenarnya adalah sampling numerik dengan bantuan *random number generator*, dimana simulasi dilakukan dengan mengambil beberapa sampel dari perubahan acak berdasarkan distribusi peluang perubahan acak tersebut. Hal ini berarti simulasi *Monte Carlo* mensyaratkan bahwa distribusi

peluang dari perubahan acak yang terlibat didalam sistem yang sedang dipelajari telah diketahui atau dapat diasumsikan. Sampel yang telah diambil tersebut dipakai sebagai masukan ke dalam persamaan fungsi kinerja MK (x) dan harga MK (x) kemudian dihitung. Untuk suatu fungsi kinerja tertentu, misalnya setiap kali MK (x) < 0 maka sistem/komponen yang ditinjau dianggap gagal, jika jumlah sampel tersebut adalah N (atau replika sejumlah N) maka dapat dicatat kejadian MK (x) < 0 sejumlah n kali. Dengan demikian, peluang kegagalan sistem/komponen yang sedang ditinjau adalah rasio antara kejadian jumlah gagal dengan jumlah sampel atau replikasi, $P_{gagal} = n / N$

Persoalan utama di dalam simulasi *Monte Carlo* adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh random number generator (RNG) menjadi besaran fisis yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp uniform, sedangkan peubah dasar dalam MK (x) seringkali tidak demikian (misal terdistribusi secara normal, lognormal, dan sebagainya). RNG biasanya ada dalam CPU komputer sebagai *built-in* komputer program dalam bagian ROM-nya RNG yang disediakan ini hampir selalu berbentuk linear congruential generator yang mengeluarkan suatu deretan bilangan cacah (integer) I_1, I_2, I_3, \dots , masing-masing anatar 0 dan m-1 (m sebuah bilangan yang besar sekali) dengan menggunakan sebuah relasi rekurens berikut:

$$I_{j+1} = aI_j + C \pmod{m} \quad (2.18)$$

Dengan ini disebut modulus, dan a serta c adalah bilangan cacah (integer) yang berturut-turut disebut sebagai pengganda dan inkremen. Relasi rekuens di atas akan berulang dengan periode yang lebih kecil dari m. jika m, a, a, dipilih secara seksama, maka periode ulang yang terjadi akan memiliki panjang maksimum, yaitu m. dalam hal itu, semua bilangan cacah (integer) antara 0 dan m-1 akan muncul, sehingga setiap pilihan “biji I_0 ” akan menghasilkan deret yang secara statistic sama baiknya.

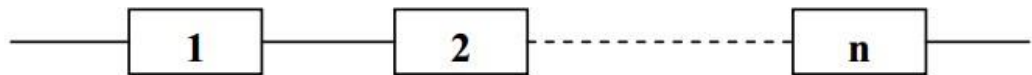
Semua angka acak aP , $P = 1, 2, \dots, M$, dengan fkp *uniform* akan dikeluarkan oleh RNG untuk kemudian ditransformasikan menjadi XP , $P = 1, 2, \dots, M$. transformasi aP (bilangan acak) menjadi XP (perubah acak ke P) dapat dilakukan dengan menggunakan persamaan distribusi komulatif dari masing-masing perubah

acak. Ini berarti untuk setiap peubah acak dihitung sendiri-sendiri sesuai dengan distribusi peluangnya (atau fkp-nya). Jika bilangan acak telah ditransformasikan menjadi peubah acak, $MK(x)$ kemudian dihitung, ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan, sedang apabila $MK(x) \geq 0$, maka ini adalah kondisi sukses (tidak gagal) dan eksperimen dilanjutkan, sedang apabila $MK(x) < 0$, maka ini dicatat dan disimpan dalam n. eksperimen ke k dilanjutkan sampai $K = N$, sesudah itu peluang kegagalan system/komponen dihitung sebagai n/N .

2.2.11. Keandalan Sistem

2.2.11.1. Keandalan Sistem Seri

Sebuah sistem dikatakan seri apabila salah satu komponen penyusunnya sudah cukup untuk menyebabkan kegagalan sebagian atau keseluruhan sistem tersebut. Dari sudut keandalan, seluruh komponen harus berfungsi supaya sistem dapat berfungsi. Sistem seperti ini disebut juga *weakest-link system*. Sebuah mata rantai adalah contoh termudah dari sebuah sistem seri. Kegagalan satu mata rantai sudah cukup untuk menjadikan rantai tersebut tidak berfungsi sama sekali. Secara grafis sistem seri dapat dilihat dalam Gambar 2.7 berikut ini :



Gambar 2.7 Representasi Grafis Sebuah Sistem Seri Dengan n-komponen (Rosyid, 2007)

Untuk sistem dengan dua komponen seri masing-masing dengan peluang kesuksesan (keandalan) K_1 dan K_2 , keandalan sistem tersebut adalah $K_s = K_1 \times K_2$. Apabila sistem tersebut tersusun n-komponen secara seri, maka keandalan sistemnya adalah sebagai berikut :

$$K_s = K_1 \cdot K_2 \cdot \dots \cdot K_n \quad (2.19)$$

Dengan memperhatikan persamaan diatas, maka dapat dipahami bahwa semakin banyak komponen dalam sebuah sistem seri, keandalan sistem itu menurun.

2.2.11.2. Keandalan Sistem Paralel

Dari aspek kegagalan, bila sebuah sistem memerlukan kegagalan seluruh komponen penyusunnya untuk tidak berfungsi sama sekali, maka sistem ini disebut sistem paralel. Dari segi keandalan, maka sistem seperti ini hanya memerlukan satu

komponen penyusunnya yang berfungsi agar sistem keseluruhan tetap berfungsi. Bila kegagalan komponen dapat dianggap s-independent, maka peluang kegagalan sistem paralel ini adalah :

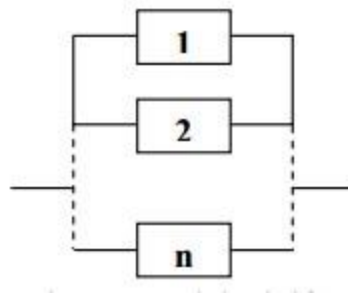
$$F_s = F_1 \cdot F_2 \cdot \dots \cdot F_n \quad (2.20)$$

Atau, bila dinyatakan dalam keandalan komponennya adalah :

$$F_s = (1 - K_1) \cdot (1 - K_2) \cdot \dots \cdot (1 - K_n) \quad (2.21)$$

Maka keandalan sistemnya adalah :

$$K_s = 1 - [(1 - K_1) \cdot (1 - K_2) \cdot \dots \cdot (1 - K_n)] \quad (2.22)$$



Gambar 2.8 RBD Sistem Paralel Aktif Dengan n-komponen (Rosyid, 2007)

2.2.12. *Subsidence*

Subsidence merupakan penurunan yang terjadi secara global atau luas pada suatu tanah. Penurunan muka tanah ini merupakan suatu proses gerakan penurunan muka tanah yang didasarkan atas suatu datum tertentu (kerangka referensi geodesi) dimana terdapat berbagai macam variabel penyebabnya. Penurunan muka tanah ini di akibatkan oleh banyak hal seperti pembebanan diatas permukaan, hilangnya air tanah akibat eksploitasi berlebihan, gempa yang mengakibatkan rusaknya struktur tanah, ketidakstabilan bidang tanah akibat proses tertentu, dan sebagainya. Penurunan muka tanah ini secara tidak langsung pemaksaan memadatkan struktur tanah yang belum padat menjadi padat.

2.2.13. *Settlement*

Settlement merupakan penurunan yang terjadi secara lokal atau kecil pada suatu tanah. Penambahan beban diatas suatu permukaan dapat menyebabkan lapisan tanah dibawahnya engalami pemampatan. Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara

didalam pori, dan sebab-sebab lain. Beberapa atau semua faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan.

2.2.14. *Buckling*

Dalam analisa *pushover* akan menghasilkan *member buckling* yang secara otomatis dihitung menggunakan *beam* yang terjadi defleksi dan plastisitas pada *member* sub-segment. Lokal tubular *buckling* ditentukan menggunakan total regangan di bagian *section* dan diperlakukan sebagai engsel permanen. Perilaku *plate* menjadi nonlinier dan beban runtuh biasanya dikaitkan dengan kegagalan plastik. Oleh karena itu, ketika menganalisa struktur tersebut, maka perlu untuk memasukan kedua geometris dan bahan nonlinier.

Buckling menurut AISC, menentukan *member* dengan rasio D/t harus kurang dari 60, dengan rumus :

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{(Kl/r)^2}{2C_c^2}\right]}{5/3 + \frac{3(Kl/r)}{8C_c} - \frac{(Kl/r)^3}{8C_c^3}} \text{ for } Kl/r < C_c \quad (2.23)$$

$$F_a = \frac{12 \pi^2 E}{23 (Kl/r)^2} \text{ for } Kl/r \geq C_c \quad (2.24)$$

$$C_c = \left[\frac{12 \pi^2 E}{F_y} \right]^{1/2} \quad (2.25)$$

dimana :

C_c = Modulus Young Elastis, ksi (MPa)

E = panjang faktor efektif

l = *unbrace length*, in (m)

r = radius girasi, in (m)

Untuk $D/t > 60$, maka F_y diganti dengan F_{xe} atau F_{xc}

Untuk batang tubular dengan perbandingan $60 \leq D/t \leq 300$ dan ketebalan $t \geq 0.25$ in, maka persamaan dibawah ini yang dipakai :

- a. Tegangan elastis lokal *buckling* menurut API RP 2A WSD, dirumuskan sebagai berikut :

$$F_{xe} = 2CE \ t/D \quad (2.26)$$

dimana :

C = koefisien kritikal elastis *buckling*

D = diameter luar, n (m)

t = wall thickness, in (m)

- b. Tegangan inelastis lokal *buckling* menurut API RP 2A WSD dirumuskan sebagai berikut:

$$\left. \begin{aligned} F_{xc} &= F_y \left[1.64 - 0.23 (D/t)^{1/4} \right] \leq F_{xe} \\ F_{xc} &= F_y \text{ for } (D/t) \leq 60 \end{aligned} \right\} \quad (2.27)$$

2.2.15. Plastic Hinge

Pengertian dalam *manual SACS*, *plastic hinge* merupakan hasil dari analisa *pushover* yang mana disebabkan oleh terjadinya *local buckling* dan tegangan dibandingkan dengan lokal *buckling*. Selain terbentuknya *plastic hinge*, sub-elemen pun akan memiliki momen *capacity* nol. Tegangan plastis selanjutnya akan digunakan untuk menghitung kekuatan *self-equilibrating* plastis pada setiap sub-elemen, kekuatan plastis kemudian digunakan dalam menyelesaikan *member iterative*, setelah akhir dari iterasi *member* maka hasil akhir kekuatan plastis diubah menjadi koordinat global dan ditambahkan ke gaya vektor plastis global, kekakuan akhir *member* dihitung pada akhir posisi defleksi pada sub-elemen.

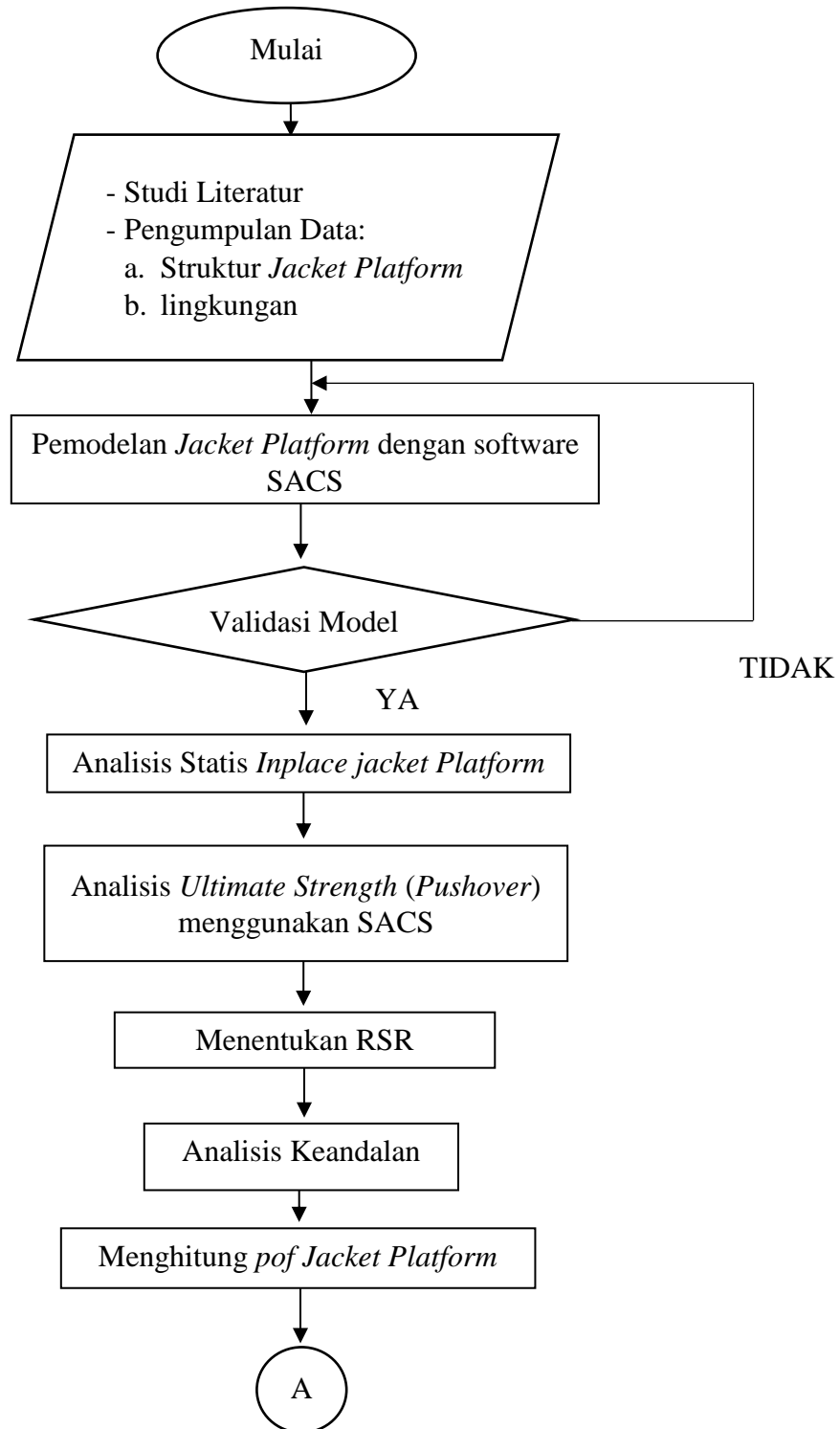
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB III

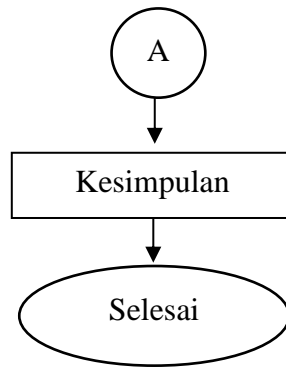
METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Metodologi Penelitian

Penjelasan mengenai tugas akhir dapat dilihat pada Gambar 3.1:

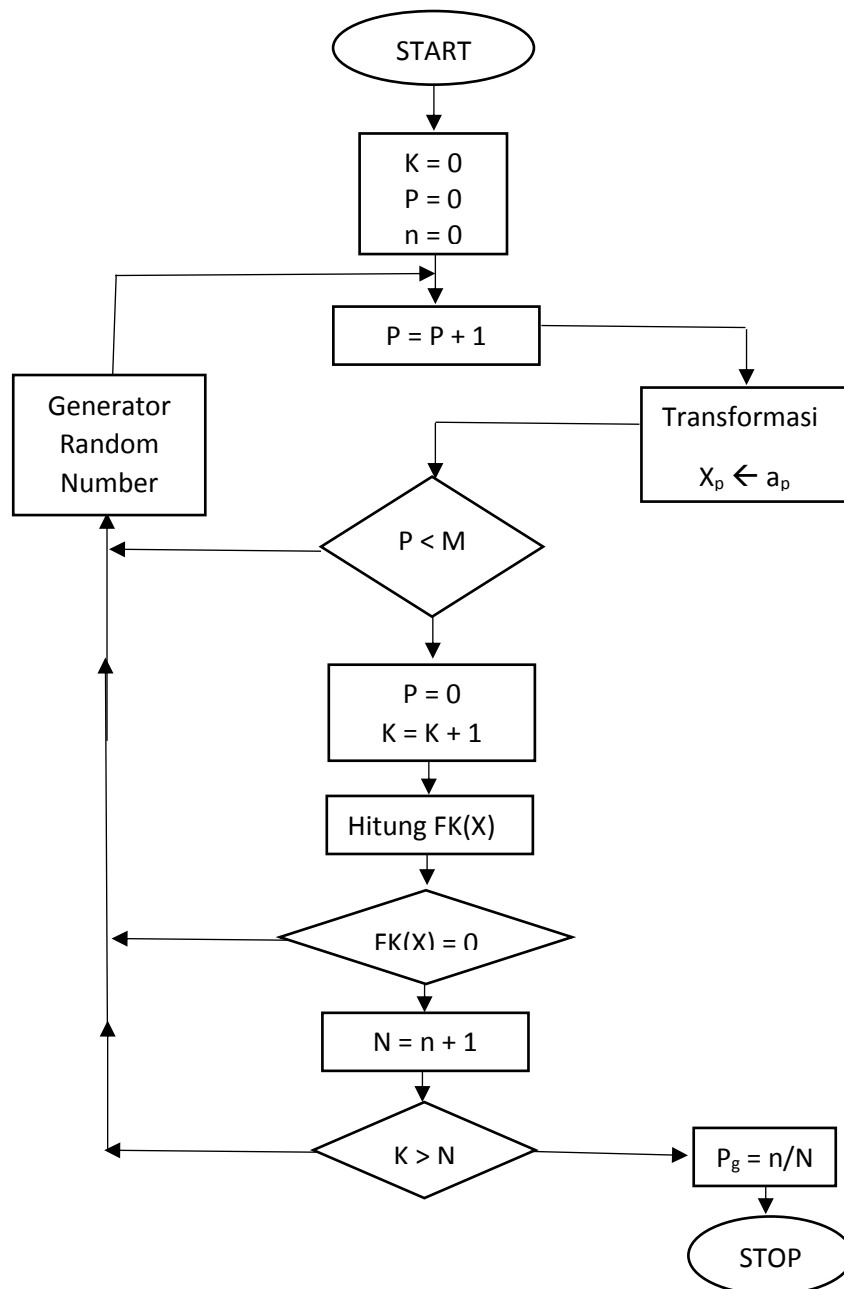


Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir



Gambar 3.1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir (Lanjutan)

Langkah-langkah yang dilakukan dalam perhitungan keandalan struktur menggunakan simulasi *Monte Carlo* ditunjukkan pada *flowchart* berikut ini :



Gambar 3.2 Flowchart Keandalan Dengan Simulasi *Monte Carlo*

Keterangan :

P_g = *probability of failure*

n = jumlah percobaan gagal

N = jumlah eksperimen

$FK(X)$ = Moda Kegagalan

K = penghitung jumlah eksperimen

M = jumlah perubah dasar ke X_p

3.2. Prosedur Penelitian

Berdasarkan diagram alir penelitian diatas, adapun prosedur penelitian dan langkah-langkah penelitian dalam mencapai tujuan Tugas Akhir ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Studi Literatur

Studi dan pengumpulan literatur sebagai bahan-bahan referensi dan sumber teori-teori yang diperlukan dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

2. Pengumpulan Data

Data yang dibutuhkan berupa data struktur, data lingkungan, dan data pembebanan pada struktur *Well and Production Tetrapod Platform*.

3. Pemodelan *Platform* dengan software SACS

Pemodelan *Platform* beserta *appurtunances* berdasarkan desain struktur dengan software SACS dan memasukan beban yang bekerja pada struktur seperti beban equipment, beban perpipaan, beban hidup, dan beban lingkungan.

4. Validasi

Pembuktian dengan menyamakan berat struktur *Well and Production Tetrapod Platform* yang dimodelkan dengan berat struktur sesungguhnya. Validasi selalu dibutuhkan dalam tahap pemodelan. Hal ini bertujuan untuk membuktikan bahwa struktur yang dimodelkan sudah dapat mewakili struktur sesungguhnya.

5. Analisis Statis *Inplace Platform*

Melakukan analisis statis *inplace* pada struktur sebelum hingga setelah mengalami *subsidence*. Analisis ini digunakan untuk mendapatkan UC (*Unity Check*) *member* dan mengetahui kemampuan sttruktur *jacket platform* dalam menerima beban.

6. Analisis *Ultimate Strength (Pushover)*

- Memasukan data *input* model yang telah digunakan pada proses pembebanan statis *inplace* pada software SACS
- Memasukan data *input pushover analysis* (*vertical load* dan *lateral load*) pada model yang telah dibuat dengan *memberikan load case* pada *load sequence* (tahap penambahan beban) yang akan dibuat.
- *Input* data pada file *collapse input* untuk di *running full plastic collapse analysis*.

7. Menentukan RSR

Membandingkan RSR (*Reserve Trength Ratio*) pada struktur sebelum hingga setelah mengalami *subsidence*

8. Analisis Keandalan

Menentukan moda kegagalan struktur *Well and Production Tetrapod Platform* berdasarkan *ultimate combine stress* sebelum hingga setelah mengalami *subsidence*. Analisis menggunakan simulasi *Monte Carlo* untuk mendapatkan PoF *member* struktur

3.3.Pengumpulan Data

3.3.1. Data Struktur

Well and Production Platform KLB merupakan struktur bangunan lepas pantai jenis *fixed platform* (terpancang) yang berupa *jacket* milik Pertamina Hulu Energi *Offshore North West Java*. KLB berada pada koordinat 006° 02' 30.68" LS dan 107° 30' 59.16" BT.

Jacket Well and Production Platform KLB dilengkapi oleh 4 deck yang terdiri atas *Upper Deck* pada elevasi (+) 78.4 ft, *Main Deck* pada elevasi (+) 58.5 ft, *Cellar Deck* pada elevasi (+) 38 ft dan *Sub Cellar Deck* pada elevasi (+) 27 ft. Struktur *jacket* pada *platform* ini mempunyai 4 kaki dengan masing-masing kaki memiliki diameter 40.5 inches.



Gambar 3.3 *Well and Production KLB PHE ONWJ (PT. ZEE Indonesia)*

Tabel 3.1. *Data Lokasi Well and Production Platform KLB PHE ONWJ (PT. ZEE Indonesia)*

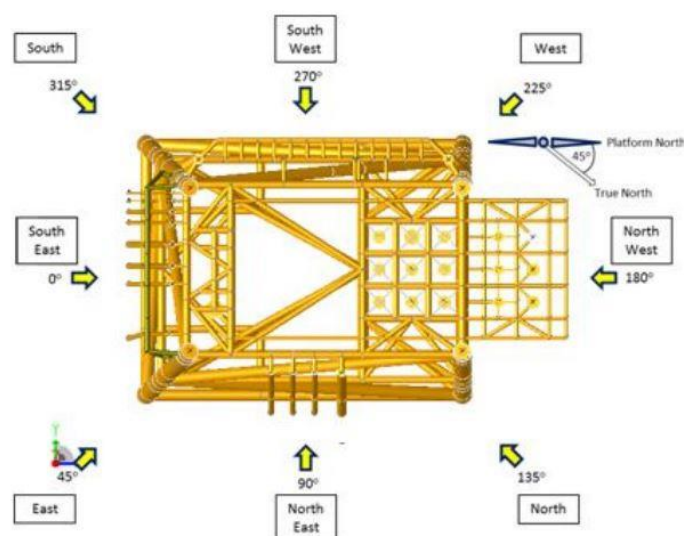
<i>LOCATION</i>	
<i>Latitude</i>	006° 02' 30.68" S
<i>Longitude</i>	107° 30' 59.16" E
<i>Water Depth</i>	49 ft w.r.t. MSL
<i>Orientation</i>	<i>The Platform North at 45° East of The True North</i>

Tabel 3.2. *Deskripsi Well and Production Platform KLB PHE ONWJ (PT. ZEE Indonesia)*

<i>JACKET</i>	
<i>Geometry</i>	4 Legged
<i>Leg Diameter</i>	40.5 inches
<i>Plan Level 1 (Top Level)</i>	Elev (-) 27'-0"
<i>Plan Level 4 (Bottom Level)</i>	Elev (-) 49'-0"

Tabel 3.2. Deskripsi *Well and Production Platform* KLB PHE ONWJ Lanjutan
(PT. ZEE Indonesia)

DECK	
Number of Decks	4
Deck Leg Diameter	36 inches
Upper Deck Elevation	TOS Elev (+) 78'-5"
Main Deck Elevation	TOS Elev (+) 58'-6"
Cellar Deck Elevation	TOS Elev (+) 38'-0"
Sub Cellar Deck Elevation	TOS Elev (+) 27'-0"
PILE AND CONDUCTOR	
Number and Type of Pile	4 x Main Leg Pile
Diameter of Piles	36 inchies
Pile Installation	Driven in to seabed and no grouting
Diameter of Conductor	30 inchies and 24 inchies
Number of Conductor	15
APPURTUNANCES	
Boat Landing	One boat landing
Barge Bumper	One barge bumper
Riser	Five – 12 $\frac{3}{4}$ " , one – 8 $\frac{3}{4}$ " , one – 20" , one – 3" , One – 4" , one – 10 $\frac{3}{4}$ "
Riser Guard	One riser guard at Platform East



Gambar 3.4 Arah Beban Lingkungan (PT. ZEE Indonesia)

3.3.2. Data Lingkungan

3.3.2.1. Data Angin

Beban angin yang mengenai bagian *topside*, *deck leg* dan *jacket leg* perlu dipertimbangkan dalam sebuah perencanaan dengan data sebagai berikut :

Tabel 3.3. Kecepatan Angin Saat Kondisi Operasi dan Badai (*PT. ZEE Indonesia*)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
<i>Wind Speed (Mph)</i>	38 Mph	63 Mph

3.3.2.2. Data Arus

Data arus berupa data kecepatan arus berdasarkan kedalaman laut yaitu :

Tabel 3.4. Data Kecepatan Arus Berdasarkan Kedalaman (*PT. ZEE Indonesia*)

<i>Percent of Depth (%)</i>	<i>Current Speed (ft / sec)</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
0	3.0	4.0
10	2.8	3.7
20	2.6	3.4
30	2.4	3.2
40	2.2	2.9
50	2.0	2.6
60	1.8	2.4

Tabel 3.4. Data Kecepatan Arus Berdasarkan Kedalaman Lanjutan
(PT. ZEE Indonesia)

<i>Percent of Depth (%)</i>	<i>Current Speed (ft / sec)</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Storm</i>
70	1.6	2.2
80	1.4	2.0
90	1.2	1.7
100	0.8	1.0

3.3.2.3.Data Gelombang

Tabel 3.5. Data Gelombang (PT. ZEE Indonesia)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Strom</i>
<i>Maximum Wave Height (ft)</i>	16.7 ft	28.3 ft
<i>Maximum Wave Period (sec)</i>	7.1 sec	9.4 Sec

3.3.2.4.Data Kedalaman Perairan

Kedalaman perairan yang digunakan dalam analisa *platform* ini yaitu :

Tabel 3.6. Kedalaman Perairan ONWJ (PT. ZEE Indonesia)

<i>Description</i>	<i>Return Period</i>	
	<i>1 – Year Operating</i>	<i>100 – Year Strom</i>
<i>Storm Surge</i>	0.5 ft	0.8 ft
<i>Highest Astronomical Tide (HAT)</i>	3.8 ft	3.8 ft
<i>Lowest Astronomical Tide (LAT)</i>	-1.64 ft	-1.64 ft
<i>Max Water Depth (MSL + ½ HAT + Storm Surge)</i>	51.40 ft	51.70 ft

3.3.2.5. Current Blockage Factor

Tabel 3.7. Current Blockage Factor (PT. ZEE Indonesia)

Type of Legs	Heading	Factor
4	End On	0.8
	Diagonal	0.85
	Broadside	0.8

3.3.2.6 Faktor Kinematik Gelombang

Tabel 3.8. Faktor Kinematik Gelombang (PT. ZEE Indonesia)

Description	Return Period	
	1 – Year Operating	100 – Year Storm
Faktor Kinematik Gelombang	0.9	1

3.3.3. Data Pembebanan

Pembebanan deck secara vertical terdiri dari beban dek itu sendiri, ditambah dengan berat peralatan diatas dek tersebut termasuk beban perpipaan, beban electrical dan instrumentation, beserta beban hidup yaitu sebagai berikut :

Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada Platform KLB PHE ONWJ (PT. ZEE Indonesia)

Description	Total Basic (kips)	
	Max Water Depth	Minimum Water Depth
Structured Dead Load		
a. Structure Weight	2555.57	2555.57
b. Compressor Module	44.73	44.73
c. Main Deck Extension	33.51	33.51
d. Cellar Deck Extension	35.84	35.84
e. Sub Cellar Deck Extension	16.79	16.79
f. Stair Tower (South Side)	28.78	28.78

Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada *Platform* KLB PHE ONWJ Lanjutan (PT. ZEE Indonesia)

Description	Total Basic (kips)	
	Max Water Depth	Minimum Water Depth
g. Stair Tower (West Side)	23.46	23.46
h. Riser Guard	15.33	15.33
i. Lube Oil	4.16	4.16
j. Flare Boom	69.21	69.21
Blanket Load (Main Deck, Cellar Deck, Sub Cellar Deck)	1231.87	
Bulk Load (Plating, Grating, Handrall and Ladder)	313.07	
Equipment Load – Upper Deck (Compressor, Lube Oil Cooler, Fuel, Silencers)	53.19	
Equipment Load – Bottom of Module (Gas Turbin Compressor, Water Mist)	101.31	
Equipment Load – Main Deck (Fuel Gas, Seal Gas, Compresor, Separator, Flame, Crane Boom Rest)	59.55	
Equipment Load – Cellar Deck (Instrument Air Compressor, KL Gas Lift, Instrument Air Receiver, Flare)	52.26	
Equipment Load – Sub Cellar Deck (Close Drain Pump, Produce Gas Receiver)	3.63	
Piping Load - Upper Deck	26.85	
Piping Load – Bottom of Module	17.52	
Piping Load - Main Deck	42.34	
Piping Load - Cellar Deck	44.76	
Piping Load - Sub Cellar Deck	5.46	
Piping Load – Flarebomm	2.14	
Electrical and Instrumentation – Upper Deck	4.76	
Electrical and Instrumentation – Bottom of Module	5.60	

Tabel 3.9. Beban Vertikal Pada *Platform KLB PHE ONWJ Lanjutan (PT. ZEE Indonesia)*

Description	Total Basic (kips)	
	Max Water Depth	Minimum Water Depth
Live Load – Upper Deck	93.85	
Live Load – Main Deck	404.45	
Live Load – Cellar Deck	464.19	
Live Load – Sub Cellar Deck	310.22	
Live Load – Bottom of Module	42.02	
Live Load – Stair Tower South Side	19.36	
Live Load – Stair Tower West Side	9.46	
Live Load – Flare Boom	0.86	
Jacket Appurtenance Load	188.55	
Crane Vertical Load	210	
Crane Moment Vertical Load – X direction	31310 kip-in	
Crane Moment Vertical Load – Y direction	31310 kip-in	

3.4. Moda Kegagalan

Dalam analisis keandalan terdapat moda kegagalan yang menjadi parameter dalam menentukan kesuksesan maupun kegagalan struktur. Moda kegagalan yang digunakan dalam tugas akhir ini adalah kombinasi beban aksial dan bending moment. Kombinasi beban aksial dan *bending moment* yang terjadi pada struktur saat *collapse* dan *design level* kondisi badai. Persamaan untuk kegagalan berdasarkan pada program perangkat lunak berbasis *finite element* yaitu berdasarkan API RP LRFD yang ditulis sebagai berikut:

$$1 - \cos \left\{ \frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right| \right\} + \frac{\sqrt{M_y^2 + M_z^2}}{M_p} \quad (3.1)$$

Dengan: P= *Axial load* pada elemen *member* (Kips)

P_n = *Ultimate axial capacity* (kips)

M_y = Bending moment pada elemen *member* arah sumbu-y (Kips in)

M_z = Bending moment pada elemen *member* arah sumbu-z (Kips in)

M_p = *Plastic bending moment* pada elemen *member* (Kips in)

Berdasarkan persamaan diatas, terdapat beberapa variabel yang memiliki ketidaktentuan yang digunakan sebagai variabel acak. Variabel acak yang digunakan pada moda kegagalan *ultimate combine stress* terdiri dari 5 variabel acak. Variabel tersebut terdiri dari komponen P, My, Mz, Pn dan Mp yang disimulasikan menggunakan metode Monte Carlo dengan *men-generate Random Number Generator* (RNG). Simulasi dilakukan dengan iterasi sebanyak 10, 100, 1000, 1000, hingga diperoleh hasil yang akurat.

Menurut Harinaldi (2005), pada umumnya struktur baja menggunakan distribusi lognormal untuk beban dan distribusi normal untuk kapasitas. Kapasita struktur dan beban yang dimaksud diperoleh dari *force* dan momen yang bekerja pada *member*. *Coefficient of varians* (CoV) untuk kondisi *ultimate* adalah CoV=0.15, sedangkan untuk design level CoV=0.3 menurut Moses (1986) dalam Robayasa (2012). Berikut ini persamaan *mean* dan standar deviasi untuk distribusi lognormal menurut Rosyid (2007)

$$\mu_{\ln(x)} = \ln \mu_x - \frac{1}{2} \ln(1 + V^2_x) \quad (3.2)$$

$$\sigma^2_{\ln(x)} = \ln(1 + V^2_x) \quad (3.3)$$

$$V_x = \sigma_x / \mu_x \quad (3.4)$$

Dengan: μ = *mean*

σ = *standard deviasi*

V = *Coefficient of Varians*

Tabel 3.10. Parameter Moda Kegagalan

Variabel	CoV	Distribusi
P	0,3	Lognormal
My	0,3	Lognormal
Mz	0,3	Lognormal
Pn	0,15	Normal
Mp	0,15	Normal

Mean pada setiap variabel acak diperoleh dari hasil *output inplace* dan *pushover*. Sedangkan untuk *standard* deviasi diperoleh dengan mengalikan mean dengan CoV sesuai dengan variabelnya. Perhitungan moda kegagalan dilakukan pada setiap *member* yang mengalami plastisitas 100%. Oleh karena itu, *mean* yang dihasilkan akan berbeda pada setiap *member* saat kondisi *non subsience* dan *subsidence*. Peluang kegagalan pada *member-member* plastis tersebut akan berguna dalam mengetahui peluang kegagalan struktur hingga mengalami keruntuhan.

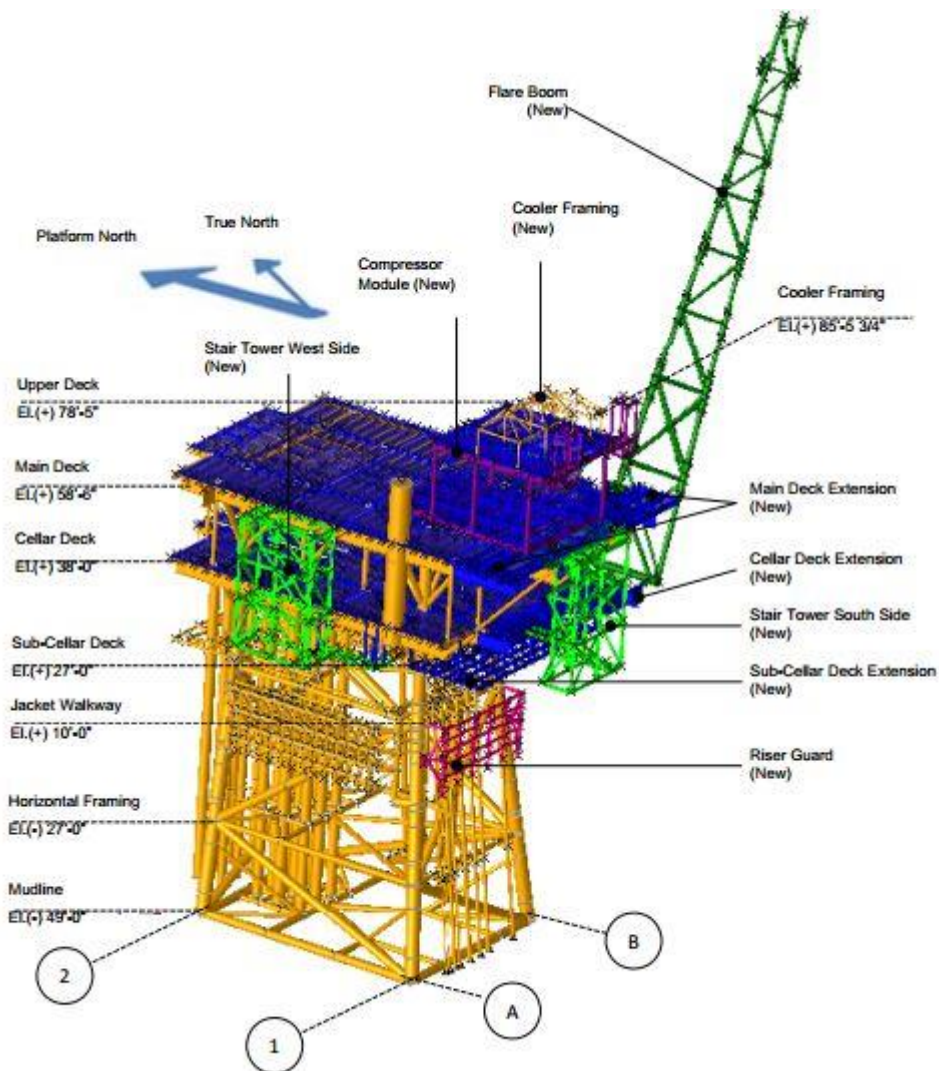
(halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Struktur

Model struktur *jacket well and production tetrapod platform* KLB PHE ONWJ ini dibuat berdasarkan gambar teknik dengan bantuan software SACS 5.7. Pemodelan dilakukan pada setiap *member jacket* dan *deck*, sedangkan *nongenerated deadload* diaplikasikan dalam bentuk beban.



Gambar 4.1 Model *well and production tetrapod platform* KLB PHE ONWJ

4.2 Validasi Model

Validasi dibutuhkan dalam tahap pemodelan, agar dapat dilakukan analisa lebih lanjut maka pemodelan struktur harus *memberikan* hasil yang kurang lebih dapat mewakili kondisi sebenarnya. Validasi ini dilakukan dengan cara membandingkan model yang penulis buat dengan report milik perusahaan. Validasi terhadap pemodelan dilakukan berdasarkan berat struktur. Berat struktur hasil pemodelan diperoleh sebesar 2758,186 kips sedangkan pada *report* KLB PHE ONWJ diketahui berat struktur sebesar 2758,17 kips.

Tabel 4.1. Validasi Model

<i>Platform</i>	Berat Struktur (kips)		Koreksi (%)
	Data	Pemodelan	
KLB PHE ONWJ	2758,17	2758,186	0,000005

Berdasarkan Tabel 4.1 diperoleh koreksi berat struktur tidak melebihi 5%, maka model dapat dinyatakan valid dan sudah mewakili struktur sesungguhnya. Koreksi diperoleh dengan menghitung selisih antara berat model dan berat data yang dibandingkan dengan berat data.

4.3 Analisis Statis *Inplace*

Pada penelitian ini dilakukan analisis struktur kekuatan *ultimate* dengan variasi kedalaman *subsidence*. Namun terlebih dahulu perlu dilakukan analisis statis *inplace* dengan variasi kedalaman *subsidence* dalam kondisi badai. Dari analisis statis *inplace* akan diperoleh *member stress check* sehingga diketahui *member* kritis pada struktur *well and production tetrapod platform* KLB PHE ONWJ. *Member* dinyatakan aman apabila $UC \leq 1$, *unity check* merupakan parameter kekuatan struktur yang diperoleh berdasarkan perbandingan antara tegangan yang terjadi dengan tegangan yang diijinkan.

4.3.1. Faktor Pembebanan Struktur

Beban statis dan beban lingkungan yang bekerja pada struktur difaktorkan berdasarkan ISO 19902. Berikut ini adalah nama beban (*load condition*) dan faktor pembebanan dalam analisis statis *inplace* kondisi badai :

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai 100-Tahun							
		5001	5002	5003	5004	5005	5006	5007	5008
1A	Dead Load (Max Water Depth)	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
1B	Dead Load (Min Water Depth)								
110	Balnknet Loads at MD, CD, SCD	1	1	1	1	1	1	1	1
210	Bulk Load (Platings, Gratings & Handrails)	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
221	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Upper Deck Module Comp	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
222	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Bottom Deck Module Comp	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
223	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Main Deck	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
224	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Cellar Deck	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
225	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Sub-Cellar Deck	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
226	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Stair Tower South	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
227	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Stair Tower West	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai Lanjutan

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai 100-Tahun							
		5001	5002	5003	5004	5005	5006	5007	5008
228	Bulk Load (PLT, GRT & H/R) at Flare Boom	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
310	Live Loads at Non-Wellhead Area (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
311	Live Loads at Wellhead Area (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
321	Live Loads at Upper Deck Module Comp (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
322	Live Loads at Bottom Deck Module Comp (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
323	Live Loads at Main Deck (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
324	Live Loads at Cellar Deck (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
325	Live Loads at Sub-Cellar Deck (100PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
326	Live Loads at Stair Tower South (50PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
327	Live Loads at Stair Tower West (50PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
328	Live Loads at Flare Boom (50PSF)	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750	0,750
410	Jacket Appurtenances Load	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07	1,07
510	Wellhead Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
610	Crane Vertical Load	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
710	YY Project	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai Lanjutan

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai 100-Tahun							
		5001	5002	5003	5004	5005	5006	5007	5008
820	Additional Equipments Load at Upper Deck Module Comp	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
821	Additional Equipments Load at Bottom Deck Module Comp	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
822	Additional Equipments Load at Main Deck	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
823	Additional Equipments Load at Cellar Deck	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
824	Additional Equipments Load at Sub-Cellar Deck	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
920	Opr. Piping Load at Upper Deck Module Comp	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
921	Opr. Piping Load at Bottom Deck Module Comp	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
922	Opr. Piping Load at Main Deck	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
923	Opr. Piping Load at Cellar Deck	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
924	Opr. Piping Load at Sub-Cellar Deck	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
925	Opr. Piping Load at Flare Boom	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15	1,15
951	E&I Loads at Upper Deck	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
952	E&I Loads at Main Deck	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
W11	100-Year Wind, Wave & Current Load 0 Deg (Max Water Depth)	1	-	-	-	-	-	-	-
W12	100-Year Wind, Wave & Current Load 45 Deg (Max Water Depth)	-	1	-	-	-	-	-	-

Tabel 4.2. Faktor Pembebanan Kondisi Badai Lanjutan

LO AD CN	Load Label	Faktor Pembebanan Kondisi Badai 100-Tahun							
		5001	5002	5003	5004	5005	5006	5007	5008
W13	100-Year Wind, Wave & Current Load 90 Deg (Max Water Depth)	-	-	1	-	-	-	-	-
W14	100-Year Wind, Wave & Current Load 135 Deg (Max Water Depth)	-	-	-	1	-	-	-	-
W15	100-Year Wind, Wave & Current Load 180 Deg (Max Water Depth)	-	-	-	-	1	-	-	-
W16	100-Year Wind, Wave & Current Load 225 Deg (Max Water Depth)	-	-	-	-	-	1	-	-
W17	100-Year Wind, Wave & Current Load 270 Deg (Max Water Depth)	-	-	-	-	-	-	1	-
W18	100-Year Wind, Wave & Current Load 315 Deg (Max Water Depth)	-	-	-	-	-	-	-	1

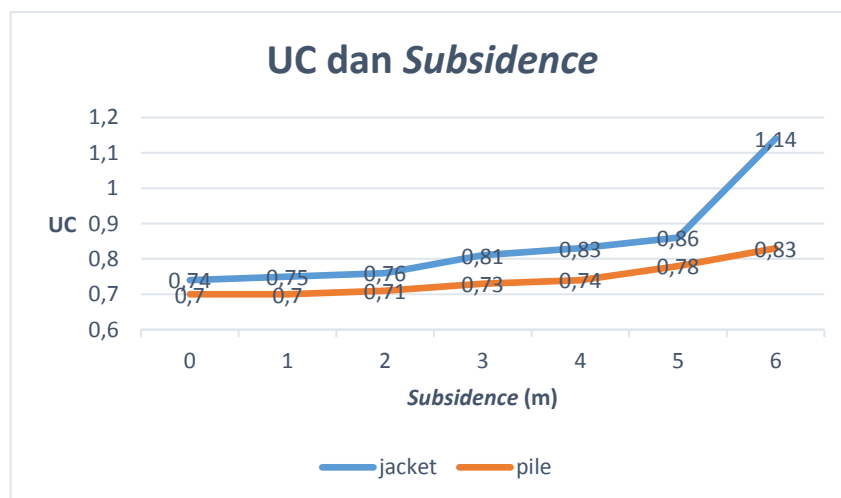
4.3.2. Analisis *Unity Check of Member*

Pada penelitian ini *unity check of member* dikelompokkan menjadi 2 macam, yaitu *jacket*, dan *pile*. *Member* yang menunjukkan *stress* paling besar dibagian *jacket* adalah pada grup BRA akibat *load case* 5001. Sedangkan pada *pile* adalah grup PL4 akibat *load case* 6004.

Analisis statis *inplace* pada struktur kondisi *non subsidence* dilakukan terhadap 8 arah pembebanan yakni pada arah 0^0 , 45^0 , 90^0 , 135^0 , 180^0 , 225^0 , 270^0 , dan 315^0 . Namun, analisis statis *inplace* pada struktur yang mengalami *subsidence* hanya dilakukan terhadap satu arah pembebanan saja. Arah tersebut sesuai dengan arah pembebanan yang diterima *member* kritis struktur dalam kondisi *non subsidence*. Oleh karena itu, hasil *unity check of member* kondisi badai untuk bagian *jacket* dan *pile* dapat dilihat di grafik dan tabel berikut :

Tabel 4.3. Hasil *Unity of Check Member* Kondisi Badai

<i>Description</i>	<i>Jacket</i>	<i>Pile</i>
<i>Member Kritis</i>	207-0699	6001-401
<i>Location</i>	<i>Horizontal brace</i>	
<i>Properties</i>	8,625 OD x 0,322 thk	36 OD x 2 thk
<i>Load Condition</i>	5001	6004
<i>Unity Check</i>		
<i>Non Subsidence</i>	0,74	0,70
<i>Subsidence 1 m</i>	0,75	0,70
<i>Subsidence 2 m</i>	0,76	0,71
<i>Subsidence 3 m</i>	0,81	0,73
<i>Subsidence 4 m</i>	0,83	0,74
<i>Subsidence 5 m</i>	0,86	0,78
<i>Subsidence 6 m</i>	1,14	0,83



Gambar 4.2 Grafik *Unity Check of Member* Kondisi Badai

Berdasarkan Gambar 4.2. bagian *jacket* dan *pile* mengalami kenaikan UC akibat *subsidence*. Akan tetapi hanya bagian *jacket* yang sampai kedalaman 6 meter UC nya melebihi 1 yaitu sebesar 1,14 akibat arah pembebanan 0^0 . Hal tersebut disebabkan tegangan yang terjadi melebihi tegangan yang diizinkan sehingga *member* mengalami kegagalan.

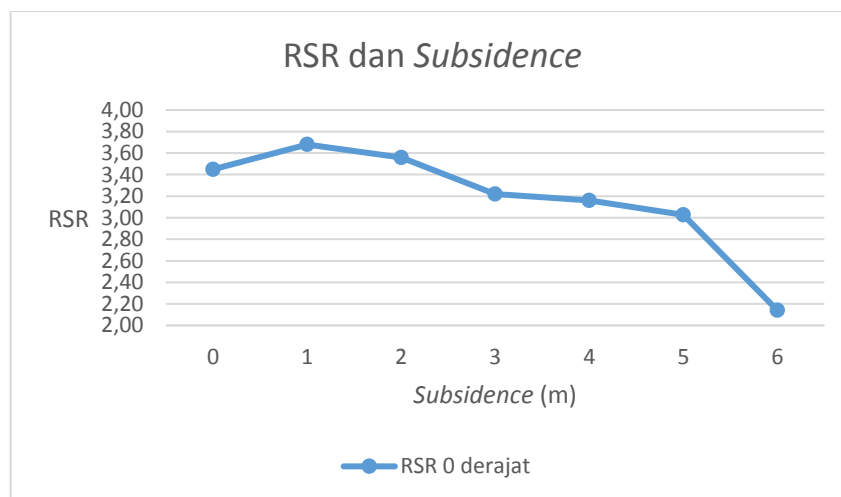
4.4 Analisa *Ultimate Strength*

Analisa statis non-linear *pushover* dilakukan dengan menggunakan *standard code* API RP 2A, yang hasilnya diperoleh dengan *memberikan* beban secara *increment*. Struktur akan mengalami keruntuhan setelah adanya *member* yang plastis karena terbentuknya *plastic hinged*. Gaya yang semakin bertambah mengakibatkan *buckling* pada *member* karena gaya tekan yang melebihi kapasitasnya. Beban pada analisa *pushover* ini dibedakan menjadi dua jenis pembebanan, yaitu beban *payload* dan beban lateral. Beban *payload* merupakan beban konstan yang terdiri dari beban pada *deck* dan *self weight*, sedangkan beban lateral terdiri dari beban gelombang, angin, dan arus yang akan dinaikan secara bertahap.

Analisa *pushover* dilakukan berdasarkan arah pembebanan pada analisa *inplace* yang membuat struktur paling kritis adalah arah 0^0 . Analisa *pushover* juga dilakukan untuk arah pembebanan 315^0 dalam tiga kondisi yakni *non subsidence*, *subsidence* 1 meter, dan *subsidence* 2 meter sebagai pembanding. Untuk merepresentasikan gaya yang terjadi pada struktur maka *output* analisa *pushover* yang digunakan adalah *base shear*. *Base shear* adalah gaya reaksi maksimum yang bekerja dipermukaan tanah akibat beban lateral. *Output base shear* ini akan dijadikan parameter perhitungan RSR dan SR yang ditunjukkan pada tabel berikut ini :

Tabel 4.4. Hasil RSR dan SR Analisa *Pushover*

Kondisi <i>subsidence</i>	<i>Load step</i>	<i>Load factor</i>	<i>Base Shear</i> (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 <i>member collapse</i>	Struktur collapse		
Arah Pembebanan 0 ⁰							
<i>Non Subsidence</i>	331	3.46	1226.12	3271.22	4228.35	3.449	1.293
<i>Subsidence 1 m</i>	362	3.7	1142.94	4057.61	4205.59	3.680	1.036
<i>Subsidence 2 m</i>	346	3.57	1153.71	3698.41	4106.44	3.559	1.110
<i>Subsidence 3 m</i>	301	3.23	1141.74	3574.95	3676.79	3.220	1.028
<i>Subsidence 4 m</i>	293	3.17	1127.04	3485.62	3561.42	3.160	1.022
<i>Subsidence 5 m</i>	275	3.04	1135.11	3307.36	3435.5	3.027	1.039
<i>Subsidence 6 m</i>	156	2.15	1404.45	2864.74	3006.95	2.141	1.050
Arah Pembebanan 315 ⁰							
<i>Non Subsidence</i>	403	4	1294.73	4846.88	5183.14	4.003	1.069
<i>Subsidence 1 m</i>	378	3.81	1198.1	4087.92	4426.12	3.694	1.083
<i>Subsidence 2 m</i>	403	4	1158.78	4564.85	4642.34	4.006	1.017

**Gambar 4.3** Grafik Hubungan RSR dan Kedalaman *Subsidence* Pada Arah 0°

Berdasarkan Gambar 4.3. RSR mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kedalaman *subsidence*. RSR saat arah pembebanan 0° dalam kondisi *non subsidence* sebesar 3,449 sedangkan RSR saat terjadi *subsidence* 6 meter mengalami penurunan hingga 2,141. Struktur mengalami keruntuhan secara keseluruhan pada kondisi *non subsidence* saat *increment* ke 331 dengan *load factor* 3,46 sedangkan struktur dalam kondisi *subsidence* 6 meter mengalami keruntuhan pada saat *increment* ke 156 dengan *load factor* 2,15.

Pada arah pembebanan 315^0 kondisi *non subsidence*, *subsidence* 1 meter, dan *subsidence* 2 meter memiliki RSR lebih besar dibanding arah pembebanan 0^0 . Maka arah pembebanan 0^0 lebih cepat membuat struktur *collapse* dengan *base shear* kondisi *non subsidence* 4228,35 kips, *subsidence* 1 meter 4205,59 kips, dan *subsidence* 2 meter 4106,44 kips. Sedangkan arah pembebanan 315^0 memiliki *base shear* yang lebih besar yaitu kondisi *non subsidence* 5183,14 kips, *subsidence* 1 meter 4426,12 kips, dan *subsidence* 2 meter 4642,34 kips. Hal ini berarti arah pembebanan *member* kritis pada analisis *inplace* berhubungan dengan arah pembebanan yang paling cepat menyebabkan struktur *collapse*.

Perlu dilakukan analisa *pushover* untuk setiap arah pembebanan pada kondisi *non subsidence*, *subsidence* 1 meter, *subsidence* 2 meter, *subsidence* 3 meter, *subsidence* 4 meter, *subsidence* 5 meter dan *subsidence* 6 meter. Hal ini bertujuan untuk mengetahui apakah kedalaman *subsidence* berpengaruh terhadap perubahan arah pembebanan yang menyebabkan struktur paling cepat mengalami keruntuhan.

Tabel 4.5. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Non Subsidence*

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	331	3.46	1226.12	3170.33	4228.35	3.449	1.334
45	367	3.78	1307.1	2765.31	4930.43	3.772	1.783
90	385	3.83	1208.02	2513.48	4743.6	3.927	1.887
135	345	3.52	1153.08	2791.01	4119.57	3.573	1.476
180	403	4	1003.36	3848.86	4022.3	4.009	1.045
225	337	3.5	1163.33	2892.99	4111.59	3.534	1.421
270	312	3.27	1344.25	3854.31	4972.2	3.699	1.290
315	403	4	1294.73	4846.88	5183.14	4.003	1.069

Tabel 4.6. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 1 m

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	362	3.692	1142.94	4057.61	4205.59	3.680	1.036
45	403	4	1046.7	3879.21	4090.67	3.908	1.0545

Tabel 4.6. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 1 m Lanjutan

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
90	377	3.8	1027.03	3677.91	3989.16	3.884	1.0846
135	365	3.7	1144.5	4013.87	4218.96	3.686	1.0511
180	398	3.9	1109.87	3998.17	4098.79	3.693	1.0252
225	403	4	1124.79	4007.69	4230.87	3.761	1.0557
270	403	4	1039.51	3997.93	4198.03	4.038	1.0501
315	378	3.81	1198.1	4087.92	4426.12	3.694	1.083

Tabel 4.7. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 2 m

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	346	3.57	1153.71	3698.41	4106.44	3.559	1.110
45	403	4	1011.1	3674.66	4022.51	3.978	1.095
90	401	3.9	1163.27	3749.53	4176.24	3.590	1.114
135	401	3.98	1003.15	3845.4	3987.5	3.975	1.037
225	345	3.57	1010.67	3429.93	3621.34	3.583	1.056
270	388	3.64	1179.36	3776.6	4199.74	3.561	1.112
315	403	4	1158.78	4564.85	4642.34	4.006	1.017

Tabel 4.8. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 3 m

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	301	3.23	1141.74	3574.95	3676.79	3.220	1.028
45	403	4	998.43	3800.85	3971.81	3.978	1.045
90	390	3.65	1167.14	3706.51	3924.13	3.362	1.059
135	403	4	998.23	3557.53	3983.04	3.990	1.120
180	403	4	915.58	3512.9	3671.36	4.010	1.045
225	397	3.95	1012.22	3813.09	4024.34	3.976	1.055
270	383	3.6	1182.92	3691.69	3896.73	3.294	1.056
315	403	4	1135.51	3817.28	4531.98	3.991	1.187

Tabel 4.9. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 4 m

Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	293	3.17	1127.04	3485.62	3561.42	3.160	1.022
45	362	3.69	972.51	2477.74	3552.35	3.653	1.434
90	314	3.53	1098.6	3359.91	3537.08	3.220	1.053
135	403	4	942.6	3557.09	3760.81	3.990	1.057
180	403	4	876.39	3401.87	3514.58	4.010	1.033
225	383	3.85	956.34	3551.14	3702.15	3.871	1.043
270	304	3.5	1129.52	3779.03	3990.61	3.533	1.056
315	4.3	4	1106.71	4231.6	4429.71	4.003	1.047

Tabel 4.10. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 5 m

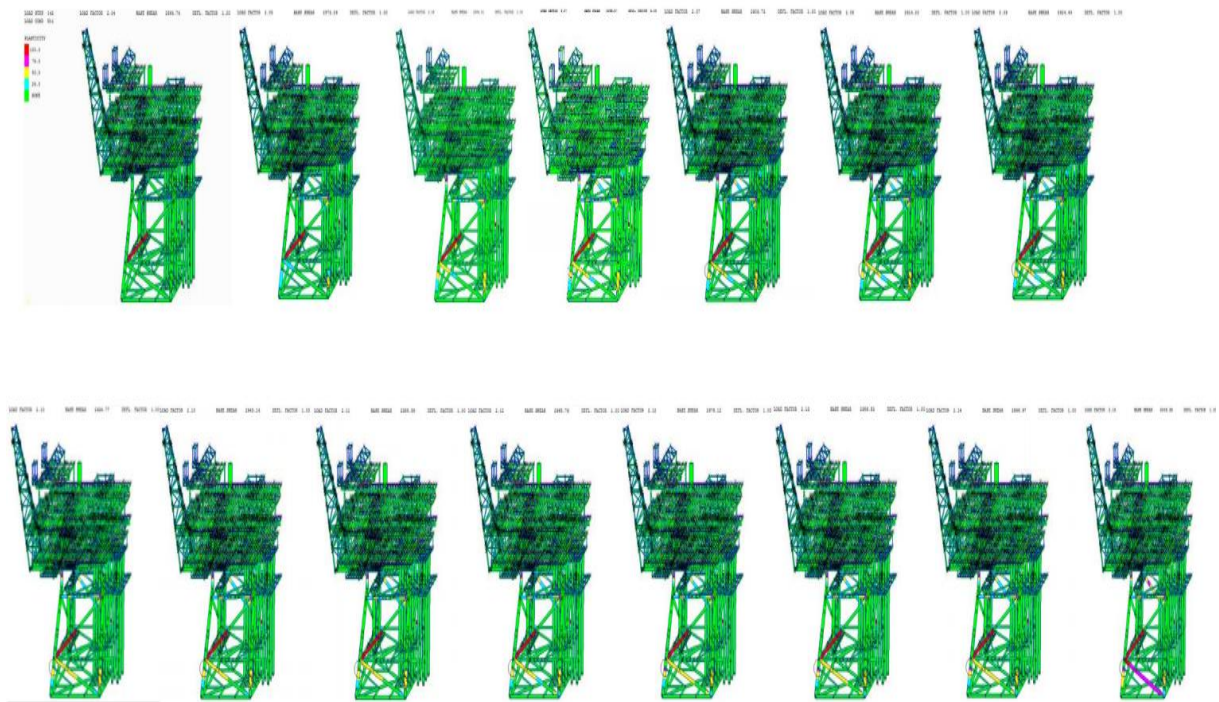
Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	275	3.04	1135.11	3307.36	3435.5	3.027	1.039
45	356	3.65	1006.7	3553.1	3647.65	3.623	1.027
90	347	3.41	1126.29	3503.09	3634.43	3.227	1.037
135	403	4	928.51	3666.53	3744.19	4.032	1.021
180	403	4	884.34	3412.79	3545.97	4.010	1.039
225	403	4	965.12	3768.41	3882.4	4.023	1.030
270	330	3.35	1181.72	3551.19	3613.78	3.058	1.018
315	379	3.82	1136.72	4294.56	4343.81	3.821	1.011

Tabel 4.11. Hasil Analisa *Pushover* Setiap Arah Pembebanan Kondisi *Subsidence* 6 m

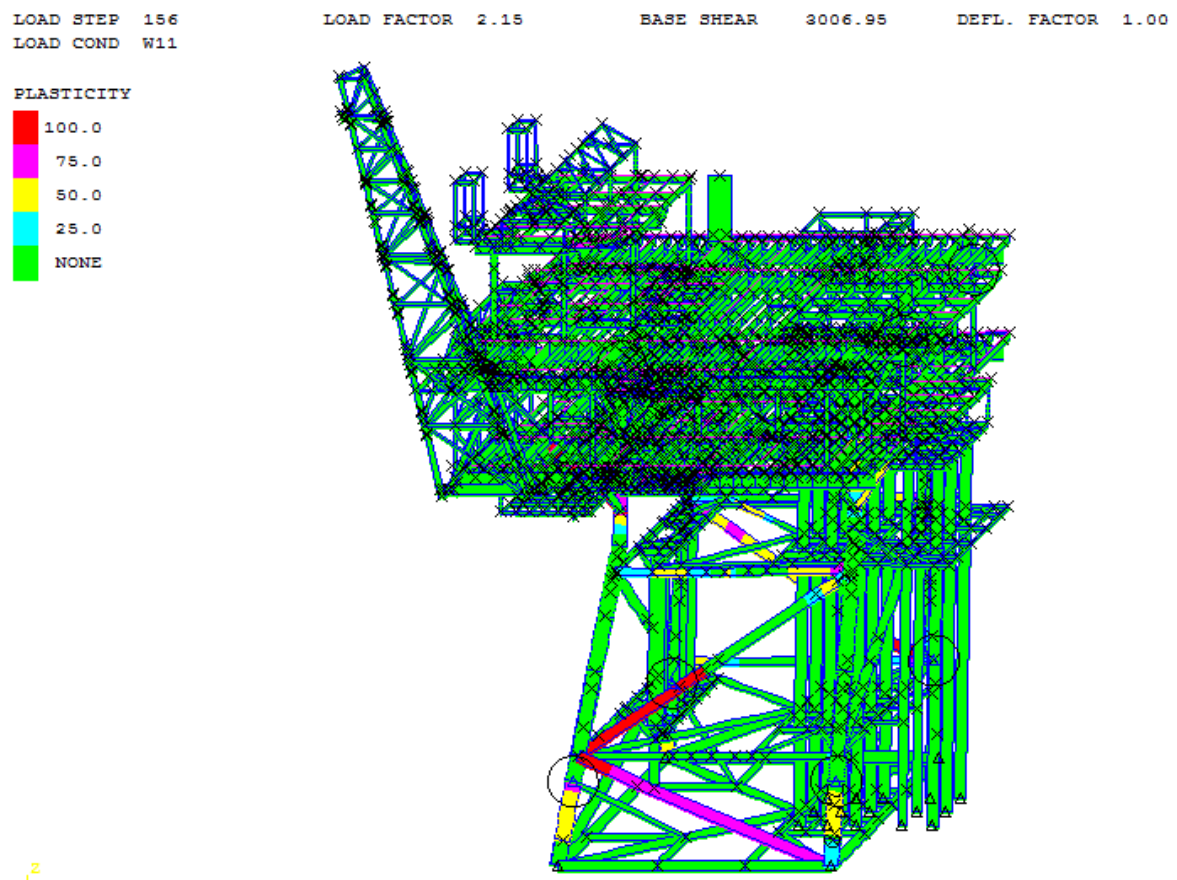
Arah pembebanan	Load step	Load factor	Base Shear (Kips)			RSR	SR
			Awal	1 member collapse	Struktur collapse		
0	156	2.15	1404.45	2864.74	3006.95	2.141	1.050
45	267	2.98	1114.93	2244.38	3288.43	2.949	1.465
90	162	2.19	1021.67	2287.19	2669.56	2.613	1.167
135	378	3.81	1069.58	3926.16	4070.09	3.805	1.037
180	329	3.44	1093.07	2547.08	3754.82	3.435	1.474
225	403	4	1055.83	4180.92	4244.7	4.020	1.015
270	180	2.25	1240.96	2476.62	2788.75	2.247	1.126
315	277	3.06	1248.09	2963.78	3794.22	3.040	1.280

Berdasarkan tabel-tabel diatas dapat dilihat bahwa arah pembebanan yang paling cepat menyebabkan struktur mengalami keruntuhan adalah arah 0^0 baik kondisi *non subsidence* maupun kondisi *subsidence* 1 meter sampai dengan 6 meter. RSR saat arah pembebanan 0^0 mengalami penurunan hingga 2,141 dalam kondisi *subsidence* 6 meter. *Member* yang mengalami plastisitas 100% terlebih dahulu adalah *member* 201-0698. Berikut adalah hasil analisa *collapse* pada arah pembebanan 0^0 dalam kondisi *subsidence* 6 meter :

1. Pada *load factor* 2,04 (*increment* ke 142) *member* 201-0698 dan 0698-1043 mengalami plastisitas 100% akan tetapi tidak menyebabkan keruntuhan pada struktur.
2. Pada *load factor* 2,05 (*increment* ke 143) *member* 207-0699 mengalami plastisitas 100% akan tetapi tidak menyebabkan keruntuhan pada struktur.
3. Pada *load factor* 2,15 (*increment* ke 156) menunjukan *member* 1685-501 dan 1691-509 mengalami plastisitas 100%, sebagian *member* mengalami plastisitas 50%-92% dan diikuti dengan *joint failure* dan *column buckling* hingga struktur mengalami keruntuhan.



Gambar 4.4 Hasil Analisa *Collapse* Arah Pembebanan 0^0 Kondisi *Subsidence* 6 meter



Gambar 4.5 *Collapse View* Arah Pembebanan 0^0 Kondisi *Subsidence* 6 meter

4.5 Analisa Keandalan Struktur

Dalam tugas akhir ini, analisa keandalan diperlukan untuk mengetahui kondisi struktur saat terkena beban lingkungan yang *diincrement* secara bertahap. Adapun dalam analisa ini obyek yang menjadi tinjauan adalah *member* yang mengalami kegagalan saat dilakukan analisa *pushover* yaitu *member* yang mengalami plastisitas 100%. *Member* yang plastis 100% dikatakan gagal apabila $MK < 0$ dan $MK > 1$ dan dikatakan sukses apabila $0 < MK < 1$. Dengan persamaan moda kegagalan sebagai berikut :

$$MK = 1 - \cos \left[\frac{\pi}{2} \left| \frac{P}{P_n} \right| \right] + \frac{\sqrt{(M_Y)^2 + (M_Z)^2}}{M_P}$$

Dimana :

P = *axial load* pada elemen *member* (Kips)

P_n = *ultimate axial capacity* (Kips)

M_Y = *bending* momen pada elemen *member* arah y axis (kips-in)

M_Z = *bending* momen pada elemen *member* arah z axis (kips-in)

M_P = *plastic bending* momen pada elemen *member* (kips-in)

4.5.1. Simulasi *Monte Carlo*

Unsur utama yang digunakan dalam simulasi *Monte Carlo* adalah sebuah *random number generator* (RNG). Dalam simulasi *Monte Carlo* adalah bagaimana mentransformasikan angka acak yang dikeluarkan oleh RNG menjadi peubah acak yang sesuai dengan fungsi kerapatan peluang (fkp)-nya. Hal ini disebabkan karena angka acak yang dikeluarkan oleh RNG memiliki fkp *uniform*, sedangkan peubah acak dalam $MK(x)$ untuk variabel beban memiliki distribusi lognormal sedangkan variabel kapasitas memiliki distribusi normal.

Transformasi angka acak menjadi peubah acak dalam MS. Excel dapat dilakukan dengan menggunakan fungsi sebagai berikut :

- Distribusi Lognormal
=LOGNORMAL.INV(angka_acak; mean; standard_deviasi)
- Distribusi Normal
=NORMINV(angka_acak; mean; standard_deviasi)

Apabila angka acak telah ditransformasikan menjadi harga peubah acak, selanjutnya menghitung moda kegagalan MK(x). peluang kegagalan adalah rasio antara kejadian jumlah gagal dengan jumlah sampel atau replikasi, $P_{gagal} = n / N$.

4.5.2. Peluang Kegagalan

Peluang kegagalan diperoleh dari hasil simulasi *Monte Carlo* untuk setiap *member* yang mengalami plastisitas 100% akibat *collapse* secara *bending*. Analisa keandalan ini dilakukan pada arah pembebanan 0^0 sebagai arah yang paling cepat menyebabkan struktur mengalami keruntuhan. Selain itu, analisa ini juga dilakukan untuk kondisi struktur yang mengalami kondisi *non subsidence*, *subsidence* 1 meter, *subsidence* 2 meter, *subsidence* 3 meter, *subsidence* 4 meter, *subsidence* 5 meter dan *subsidence* 6 meter. Pengerjaan simulasi *Monte Carlo* dan penentuan *Random Number Generate* (RNG) sebanyak 50000 kali dengan menggunakan *software* MS. Excel.

Tabel 4.12. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Non Subsidence*

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
226	2,59	1061-142	LG1	0,79372	0,20628
320	3,377	201-0698	BRA	0,29086	0,70914
320	3,377	0698-1043	BRA	0,50122	0,49878
321	3,385	207-0699	BRA	0,68012	0,31988
331	3,46	102-202	PL3	0,50332	0,49668

Berdasarkan Tabel 4.12 diketahui bahwa kondisi *non subsidence* menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 331 dengan *load factor* 3,46 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 1061-142 sebesar 0,79372. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *non subsidence* yakni 0,20628.

Tabel 4.13. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 1 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
344	3,558	201-0698	BRA	0,39246	0,60754
344	3,558	0698-1043	BRA	0,5003	0,4997
345	3,565	207-0699	BRA	0,68356	0,31644
362	3,692	103-201	BR1	0,50556	0,49444
362	3,692	0709-305	BRC	0,88106	0,11894
362	3,693	104-204	PL1	0,49136	0,50864

Berdasarkan Tabel 4.13 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 1 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 362 dengan *load factor* 3,693 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 0709-305 sebesar 0,88106. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 1 meter yakni 0,11894.

Tabel 4.14. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 2 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
298	3,212	201-0698	BRA	0,88184	0,11816
298	3,212	207-0699	BRA	0,87088	0,12912
298	3,212	0698-1043	BRA	0,49656	0,50344
304	3,257	103-201	BR1	0,56106	0,43894
346	3,57	104-204	PL1	0,5012	0,4988
346	3,57	102-202	PL3	0,49842	0,50158

Berdasarkan Tabel 4.14 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 2 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 346 dengan *load factor* 3,57 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 201-0698 sebesar 0,88184. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 2 meter yakni 0,11816.

Tabel 4.15. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 3 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
288	3,138	201-0698	BRA	0,39206	0,60794
288	3,138	0698-1043	BRA	0,49804	0,50196
289	3,212	207-0699	BRA	0,66268	0,33732
300	3,228	103-201	BR1	0,5789	0,4211
301	3,23	0713-1036	BR2	0,6918	0,3082

Berdasarkan Tabel 4.15 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 3 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 301 dengan *load factor* 3,23 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 0713-1036 sebesar 0,6918. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 3 meter yakni 0,3082.

Tabel 4.16. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 4 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
283	3.1	201-0698	BRA	0.37054	0.62946

Tabel 4.16. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 4 meter Lanjutan

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
283	3.1	207-0699	BRA	0.52186	0.47814
283	3.1	0698-1043	BRA	0.49752	0.50248
293	3.17	0713-1036	BR2	0.02234	0.97766
293	3.17	1036-0708	BRC	0.52214	0.47786
293	3.17	1685-501	DSP	0.97572	0.02428

Berdasarkan Tabel 4.16 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 4 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 293 dengan *load factor* 3,17 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 1685-501 sebesar 0,97572. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 4 meter yakni 0,02428.

Tabel 4.17. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 5 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
259	2.92	201-0698	BRA	0.9293	0.0707
259	2.92	207-0699	BRA	0.4254	0.5746
259	2.92	0698-1043	BRA	0.5003	0.4997
275	3.04	1685-501	DSP	0.88412	0.11588

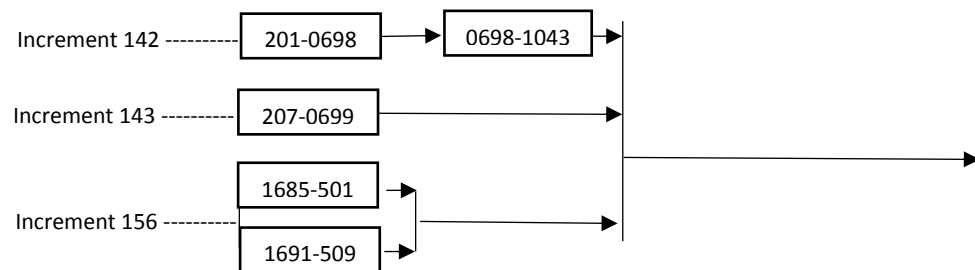
Berdasarkan Tabel 4.17 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 5 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 275 dengan *load factor* 3,04 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 201-0698 sebesar 0,9293. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 5 meter yakni 0,0707.

Tabel 4.18. Keandalan *Member* Plastis 100% Kondisi *Subsidence* 6 meter

<i>Increment</i>	<i>Load Factor</i>	<i>Member</i>	<i>Group</i>	PoF	K
142	2.04	201-0698	BRA	0.96294	0.03706
142	2.04	0698-1043	BRA	0.45962	0.54038
143	2.05	207-0699	BRA	0.71344	0.28656
156	2.15	1685-501	DSP	0.9659	0.0341
156	2.15	1691-509	DSP	0.80756	0.19244

Berdasarkan Tabel 4.18 diketahui bahwa kondisi *subsidence* 6 meter menyebabkan struktur mengalami keruntuhan total saat *increment* ke 156 dengan *load factor* 2,15 kali kenaikan beban lateral. Peluang kegagalan *member* terbesar terjadi pada *member* 1685-501 sebesar 0,9659. Oleh karena itu *member* tersebut memiliki keandalan yang paling kecil untuk kondisi *subsidence* 6 meter yakni 0,0341.

Setelah dilakukan perhitungan keandalan tingkat *member* pada *jacket well and production structure platform* KLB PHE ONWJ, selanjutnya akan dilakukan perhitungan keandalan sistem menggunakan metode RBD (*Reliability Block Diagram*). Rangkaian seri digunakan pada *member* yang mengalami kegagalan pada *incremental load* yang sama dan *joint* yang saling berhubungan antar *member*. Sedangkan sistem paralel digunakan pada *member* yang mengalami kegagalan pada kondisi *incremental load* yang berbeda. Setelah menentukan jenis sistem nya kemudian bisa dilakukan pengelompokkan *member* dengan RBD sehingga akan diketahui PoF sistem. Sebagai contoh perhitungan RBD digunakan struktur saat kondisi *subsidence* 6 meter.



Gambar 4.6 Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 6 meter

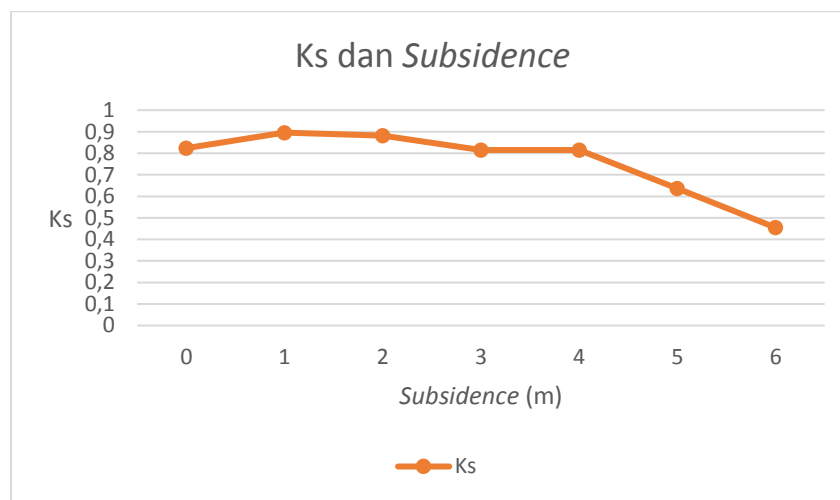
Perhitungan keandalan sistem kondisi *subsidence* 6 meter :

- Keandalan Sistem Seri
 Seri 1 = $K(201-0698) \times K(0698-1043)$
 $= 0,03706 \times 0,54038$
 $= 0,020026483$
- Keandalan Sistem
 $K_s = 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) \times (1 - K(207-0699)) \times (1 - K(1685-501)) \times (1 - K(1691-509))]$
 $= 1 - [(1 - 0,02003) \times (1 - 0,28656) \times (1 - 0,0341) \times (1 - 0,19244)]$
 $= 1 - [0,545354]$
 $= 0,454646$
- Kegagalan Sistem
 $PoF_s = 1 - K_s$
 $= 1 - 0,454646$
 $= 0,545354$

Setelah dilakukan analisa PoF sistem menggunakan RBD maka diperoleh PoF sistem pada masing-masing kondisi arah pembebanan 0^0 adalah :

Tabel 4.19. Keandalan Sistem *Platform* KLB PHE ONWJ

Kondisi	PoFs	Ks
<i>Non subsidence</i>	0,175601	0,824399
<i>Subsidence 1 m</i>	0,104189	0,895811
<i>Subsidence 2 m</i>	0,114793	0,885207
<i>Subsidence 3 m</i>	0,184405	0,815595
<i>Subsidence 4 m</i>	0,185493	0,814507
<i>Subsidence 5 m</i>	0,362817	0,637183
<i>Subsidence 6 m</i>	0,545354	0,454646



Gambar 4.7 Grafik Keandalan Sistem dan Kedalaman *Subsidence* Pada Arah 0^0

Berdasarkan Gambar 4.7 diketahui bahwa peluang kegagalan sistem mengalami peningkatan pada kedalaman *subsidence* 6 meter. PoF paling besar yakni pada kondisi *subsidence* 6 meter sebesar 0,545354.

BAB V

PENUTUP

5.1. Kesimpulan

Dari hasil analisa dan perhitungan yang dilakukan diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil analisa statis *inplace* kondisi badai, diketahui bahwa kedalaman *subsidence* maksimum yang diijinkan agar tetap layak beroperasi adalah kedalaman *subsidence* 5 meter. Kondisi *subsidence* 5 meter memiliki UC 0.86 pada *member* 207-0699
2. Hasil analisa *pushover platform* KLB PHE ONWJ menghasilkan RSR terkecil pada arah pembebanan 0^0 . Nilai RSR kondisi *non subsidence* sebesar 3.449, kondisi *subsidence* 1 meter sebesar 3.680, kondisi *subsidence* 2 meter sebesar 3.559, kondisi *subsidence* 3 meter sebesar 3.220, kondisi *subsidence* 4 meter sebesar 3.160, kondisi *subsidence* 5 meter sebesar 3.027, dan kondisi *subsidence* 6 meter sebesar 2.141
3. Hasil perhitungan keandalan sistem menunjukkan bahwa kondisi *non subsidence* struktur memiliki keandalan 0.824399, saat terjadi *subsidence* 1 meter keandalan struktur menjadi 0.895811, *subsidence* 2 meter keandalan struktur menjadi 0.885207, *subsidence* 3 meter keandalan struktur menjadi 0.815595, *subsidence* 4 meter keandalan struktur menjadi 0.814507, *subsidence* 5 meter keandalan struktur menjadi 0.637183, dan *subsidence* 6 meter keandalan struktur menjadi 0.454646

5.2. Saran

Berdasarkan kesimpulan diatas, penulis menyarankan untuk penelitian Tugas Akhir selanjutnya antara lain :

1. Perlu dilanjutkan analisa resiko struktur KLB PHE ONWJ
2. Perlu diperhitungkan analisa keandalan akibat *collapse* secara *buckling* sesuai *code* API RP LRFD

(halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- American Petroleum Institute, 1997, Recommended Practice For Planning, Designing and Construction Fixed Offshore Platform. Official Publication Washington DC
- Anindysarathi, Handyta, 2013, “Analisa Pengaruh Peninggian Platform Akibat Subsidence Dengan Pendekatan Statis Berbasis Resiko”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Azmi, Fatih, 2016, “Analisa Resiko Keruntuhan Struktur Jacket Breasting Dolphin Akibat Penambahan DWT Kapal Tanker”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Febrianita SP, Ayu, 2011, “Analisa Ultimate Strength Fixed Platform Pasca Subsidence”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Hardiansah, Moch Ibnu, 2012, “Analisa Kekuatan Ultimate Pada Konstruksi Deck Jacket Platform Akibat Slamming Beban Slamming Gelombang”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Hartanto, Kusnu Budi, 2012, “Aplikasi Manajemen Resiko Pada Re-Engineering Analysis, Studi Kasus Perpanjangan Service Life Platform Lepas Pantai”, *Tesis Program Studi Manajemen Gas Teknik Kimia Universitas Indonesia*, Universitas Indonesia Depok
- International Standardization Organization 19902, 2007, International Standard Petroleum and Natural Gasl Industries Fixed Steel Offshore Structures. Official Publication Switzerland
- Nurdianti, Ulfa, 2013, “Studi Keandalan Struktur Gedung Tinggi Tidak Beraturan Menggunakan Pushover Analysis pada Tanah Medium”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Sipil Universitas Hasanuddin*, Universitas Hasanuddin Makassar
- Nuriman, Fahmi, 2013, “Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform Akibat Penambahan Conductor dan Deck Extension”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya

- Popov, E.P., 1993. “Mekanika Teknik”, Jakarta : Erlangga
- Prihantika, Edit Hasta, 2013, “Analisa Dampak Scouring pada Integritas Jacket Struktur dengan Pendekatan Statis Berbasis Keandalan”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Robayasa, Nasta Ina, 2012, “Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Well Tripod Platform Berbasis Resiko”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Rosyid, Daniel M, 2007, *Pengantar Rekayasa Keandalan*, Surabaya: Airlangga University Press
- Samudra, Sulung Fajar, 2013, “Analisa Pengaruh Peninggian Platform Akibat Subsidence Dengan Pendekatan Dinamis Berbasis Keandalan”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Septya WS, Bunga, 2015, “Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Wellhead Tripod Platform Berbasis Resiko Akibat Terjadinya Scouring”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya
- Walujo P, Rudi, 2016, *Pengantar Kuliah Perencanaan dan Konstruksi Bangunan Laut III*, Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember
- Whittaker, Barry N. And David J. Reddish. 1989. “Subsidence: Occurence, Prediction, and Control”. California: Elsevier
- Wijaya, Arief Santoso, 2006, “Analisa Kekuatan Ultimate Struktur Jacket Dengan Pendekatan LFRD dan Berbasis Keandalan”, *Jurnal Tugas Akhir Jurusan Teknik Kelautan ITS*, ITS Surabaya

LAMPIRAN 1
***INPUT* ANALISA KERUNTUHAN**

- Arah Pembebanan 0⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W11 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 45⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W12 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 90⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W13 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 135⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W14 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 180⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W15 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 225⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W16 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 270⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W17 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

- Arah Pembebanan 315⁰

```

1 CLPOPT      20  8 20      CN      LBJFPPJS      LR  0.010.001 0.011000.0.005
2 CLPRPT P1R1M1MP      SMMSPW
3 LDSEQ LSEQ      PYLD  1      1.      1.
4 LDSEQ LSEQ      W18 400      1.      4.
5 GRPELA      MD1 MD2 MD3 MD4 MD5 MD6 MD9 CD1 CD2 CD3 CD8 CD9 SD1 SD2 SD3
6 GRPELA      SD5 WH1 FLI FLH FLG FLF FLE FL9 FL8 FL7 BCU BMU BCL BMX BM2
7 GRPELA      BML 5MD 6MD 7MD ST9 2CD 3CD 4CD 6CD EX1 ST2 YST ZST XST VST
8 GRPELA      FL1 FL2 FL3 FL4 FL5 FL6
9 END

```

LAMPIRAN 2
OUTPUT ANALISA INPLACE
DAN PUSHOVER

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Non Subsidence*

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
226	1061-142	LG1	0,7	0	-867,85	2028,3	3335,4	2331,971	1188,6
320	201-0698	BRA	0,54	0	654,73	-57,746	-49,34	1801,563	-14,6
320	0698-1043	BRA	0,54	6,3	644,95	-57,671	448,84	1803,157	18,8
321	207-0699	BRA	0,74	0	-744,9	-720,46	-221,58	642,408	11709,8
331	102-202	PL3	0,38	0	-1335,7	4069	-6111	-93,34	-59852,4

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Subsidence* 1 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
344	201-0698	BRA	0,51	0	625,9	-35,082	-835,11	1796,813	157,5
344	0698-1043	BRA	0,52	6,3	625,12	424,44	777,83	1798,239	19,9
345	207-0699	BRA	0,72	0	-724,42	-745,81	-213,28	271,923	10799,1
362	103-201	BR1	0,41	59,5	-507,5	1026,9	-129,61	74,562	-18191,1
362	0709-305	BRC	0,38	0,8	-721,06	951,44	756,59	-476,252	21031,4
362	104-204	PL1	0,28	0	-794,93	4169,6	-6030,1	-1335,32	488,2

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Subsidence* 2 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
298	201-0698	BRA	0,49	0	624,09	193,67	-580,19	1802,244	-208,4
298	207-0699	BRA	0,76	0	-771,03	-712,09	-185,77	-373,119	-14660,2
298	0698-1043	BRA	0,49	6,3	606,8	402,21	673,57	1802,298	4,7
344	103-201	BR1	0,41	59,5	-507,6	1032,4	-143,37	167,078	19931,9
346	104-204	PL1	0,27	0	-782,3	3837,7	-5551,1	-1309,88	168,2
346	102-202	PL3	0,35	0	-1300,3	2782,5	-4818	-135,287	-59998,5

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Subsidence* 3 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
288	201-0698	BRA	0,5	24,3	664,66	446,3	68,098	1798,545	-86,9
288	0698-1043	BRA	0,5	0	664,66	446,32	68,074	1798,559	6,1
289	207-0699	BRA	0,81	0	-798,57	-897,91	-184,51	738,496	6648,1
300	103-201	BR1	0,4	59,5	-504,77	993,41	-116,98	472,048	20035,5
301	0713-1036	BR2	0,34	29,2	667,51	-1366,4	-281,91	3159,703	-937,9

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Subsidence* 4 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
283	201-0698	BRA	0,51	24,3	681	401,22	63,341	1813,214	-506,1
283	207-0699	BRA	0,83	0	-815,72	-973,47	-176,31	95,271	-1356,1
283	0698-1043	BRA	0,51	0	681	401,23	63,319	1812,962	19,8
293	0713-1036	BR2	0,35	29,2	683,85	-1427,9	-282,74	3220,211	2627,2
293	1036-0708	BRC	0,32	1,8	684,21	-1627,4	-303,45	3582,17	-122,9
293	1685-501	DSP	0,7	20,5	-320,44	-560,81	-204,37	-879,991	-381,3

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0° Kondisi *Subsidence* 5 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
259	201-0698	BRA	0,54	0	697,09	424,23	-427,75	1805,813	-403,9
259	207-0699	BRA	0,86	0	-847,39	-981,49	-158,41	-173,623	5757,2
259	0698-1043	BRA	0,52	0	711,1	313,53	61,027	1805,01	14,3
275	1685-501	DSP	0,79	20,5	-359,28	-608,35	-235,35	-881,908	459,5

- Member Dengan Plastisitas 100% Arah 0^0 Kondisi *Subsidence* 6 meter

Increment	Member Joints	Group ID	Maximum Combined UC	Length (ft)	Mean				
					P	My	Mz	Pn	Mp
					kips	in-kip	in-kip	kips	in-kip
142	201-0698	BRA	0,7	0	924,74	617,77	174,52	1799,533	-297
142	0698-1043	BRA	0,67	0	924,12	249,49	48,185	1798,529	32,6
143	207-0699	BRA	1,14	0	-1067	-1496,9	-149,63	428,914	-6506,6
156	1685-501	DSP	0,92	20,5	-420,39	-738,23	-79,459	-877,529	408,1
156	1691-509	DSP	0,98	20,5	-439,32	-802,18	123,41	-822,224	-274

LAMPIRAN 3

PERHITUNGAN KEANDALAN
MEMBER DENGAN SIMULASI
MONTE CARLO

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Non Subsidence*

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	744,90	223,47	6,57016	0,29356
My	720,46	216,138	6,53680	0,29356
Mz	221,58	66,474	5,35769	0,29356
Pn	642,41	96,3612	-	-
Mp	11709,80	1756,47	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	16136
Gagal	33864
PoF	0,67728
K	0,32272

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,239957	579,8547	0,473512	676,7457	0,944855	339,1624	0,574265	660,451	0,160297	9965,21	0,115467	1
2	0,104752	493,6188	0,714246	814,7709	0,587854	226,5291	0,209193	564,4301	0,953499	14660,26	0,13893	1
3	0,314976	619,3838	0,053577	430,0238	0,417778	199,6882	0,318005	596,8016	0,080107	9243,099	-0,11051	0
4	0,169019	538,5692	0,676587	789,4238	0,564532	222,6029	0,095191	516,228	0,176095	10075,67	-0,14883	0
5	0,298952	611,1437	0,082082	458,7013	0,938999	334,1744	0,45263	630,9393	0,437165	11432	-0,00036	0
6	0,581024	757,6323	0,430017	655,2633	0,38382	194,6024	0,9683	821,2903	0,589776	12108,46	0,065253	1
7	0,071054	463,691	0,598601	742,5656	0,493125	211,1641	0,680974	687,7387	0,821867	13330,15	0,438394	1
8	0,0664	458,9286	0,659945	778,8666	0,713975	250,5271	0,470198	635,2029	0,839575	13453,47	0,366361	1
...
49992	0,166947	537,266	0,04618	421,035	0,07428	138,8795	0,249178	577,1638	0,59952	12152,61	0,072041	1
49993	0,231491	575,1917	0,920372	1043,161	0,566137	222,8696	0,286572	588,1156	0,024271	8244,986	-0,09472	0
49994	0,667984	810,5151	0,105633	478,1018	0,165564	159,5568	0,907893	770,3653	0,610484	12202,63	-0,12286	0
49995	0,020222	390,9596	0,545161	713,4439	0,5771	224,7046	0,934302	787,7807	0,609213	12196,81	0,666806	1
49996	0,898634	1037,014	0,478494	679,2358	0,515931	214,7384	0,552523	655,1314	0,256761	10562,19	-0,83221	0
49997	0,332997	628,5687	0,29297	588,0962	0,218789	168,9845	0,314595	595,8782	0,146965	9866,315	-0,14765	0
49998	0,543798	736,9021	0,572905	728,3272	0,386946	195,07	0,408526	620,1161	0,877423	13751,17	-0,34352	0
49999	0,060474	452,5534	0,090855	466,2627	0,047727	130,0916	0,857699	745,5184	0,420451	11357,21	0,543541	1
50000	0,625192	783,5617	0,8918	991,9645	0,259855	175,6868	0,485094	638,8066	0,340369	10987,09	-0,43284	0

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 1 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	724,42	217,326	6,54228	0,29356
My	745,81	223,743	6,57138	0,29356
Mz	213,28	63,984	5,31952	0,29356
Pn	271,92	40,78845	-	-
Mp	10799,10	1619,865	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	15752
Gagal	34248
PoF	0,68496
K	0,31504

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,372029	630,4535	0,60121	770,2185	0,321528	178,3009	0,164599	232,1245	0,443198	10567,67	-0,3628	0
2	0,156333	515,8889	0,824018	938,8208	0,45559	197,7039	0,807093	307,2961	0,792938	12121,98	-0,91088	0
3	0,394657	641,5213	0,033128	416,6315	0,711678	240,666	0,698136	293,0941	0,019816	7466,137	-0,93555	0
4	0,811754	899,5561	0,585333	761,0211	0,366761	184,8557	0,966127	346,4309	0,548309	10995,74	-0,5332	0
5	0,276214	582,8158	0,757489	876,8713	0,095583	139,1834	0,386225	260,1281	0,42573	10495,77	-0,895	0
6	0,335292	612,4197	0,960074	1194,6	0,96736	350,9517	0,613462	283,6845	0,282911	9868,949	-0,93028	0
7	0,798189	886,6547	0,681563	820,5412	0,504556	204,9713	0,766094	301,5371	0,729226	11787,99	-0,02179	0
8	0,233927	560,6881	0,933781	1111,05	0,253426	168,1181	0,940408	335,48	0,293651	9919,919	-0,91987	0
9	0,213546	549,5738	0,474382	701,0073	0,348958	182,2858	0,198907	237,4351	0,268027	9796,744	-0,8429	0
...
49993	0,894297	1001,393	0,016449	381,885	0,223736	163,4517	0,114983	222,9587	0,251249	9712,875	0,686138	1
49994	0,507889	697,9083	0,161507	534,4623	0,897448	296,3377	0,043197	201,9816	0,142986	9070,702	0,705102	1
49995	0,047713	425,296	0,321644	623,5518	0,61847	223,1882	0,204072	238,1843	0,578161	11118,52	-0,96181	0
49996	0,079111	458,5398	0,427595	677,092	0,78291	257,0057	0,377111	259,153	0,500813	10802,4	-0,95674	0
49997	0,703731	811,9059	0,053908	445,551	0,322127	178,3883	0,261976	245,9299	0,621486	11300,26	0,493287	1
49998	0,80315	891,2883	0,506553	717,8093	0,451748	197,1419	0,292796	249,6837	0,838975	12403,18	0,816227	1
49999	0,809876	897,7254	0,710393	840,6461	0,910341	302,9984	0,408732	262,5087	0,741416	11848,31	0,67046	1
50000	0,827242	915,2572	0,435886	681,2975	0,632789	225,6776	0,908522	326,2414	0,388565	10340,58	-0,23399	0

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 2 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	771,03	231,309	6,60464	0,29356
My	712,09	213,627	6,52512	0,29356
Mz	185,77	55,731	5,18142	0,29356
Pn	373,12	55,96785	-	-
Mp	14660,20	2199,03	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	6497
Gagal	43503
PoF	0,87006
K	0,12994

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,798094	943,6088	0,729247	815,9438	0,156644	132,3446	0,307801	345,0179	0,801276	16520,99	-0,35816	0
2	0,139002	537,0977	0,810026	882,589	0,607875	192,8269	0,835859	427,8321	0,29659	13485,41	-0,45125	0
3	0,609546	801,3423	0,825028	897,4036	0,235234	143,9625	0,082869	295,5459	0,673891	15651,27	-0,38505	0
4	0,726247	881,1392	0,6813	783,2733	0,912971	265,1912	0,753315	411,4547	0,647193	15490,89	-0,96224	0
5	0,525911	752,7387	0,311402	590,3518	0,572785	187,7817	0,976943	484,7387	0,792556	16453,12	-0,78711	0
6	0,473004	723,976	0,448305	656,5301	0,154945	132,0689	0,98999	503,2978	0,244514	13138,79	-0,67407	0
7	0,608203	800,52	0,088193	458,6247	0,057265	111,9593	0,311437	345,595	0,630284	15391,61	-0,86402	0
8	0,641467	821,408	0,377813	622,5043	0,440161	170,2421	0,440626	364,7585	0,968932	18762,1	-0,90892	0
9	0,314591	640,9071	0,378424	622,7982	0,547207	184,2399	0,503663	373,6329	0,211179	12895,84	-0,92231	0
...
49993	0,292428	629,0838	0,096947	465,7915	0,488985	176,4988	0,558421	381,3445	0,272576	13329,7	-0,87129	0
49994	0,11242	517,1469	0,508171	686,1719	0,755187	217,9449	0,831853	426,9329	0,57387	15069,74	-0,37064	0
49995	0,1229	525,2784	0,238196	553,3918	0,166076	133,8512	0,363792	353,6231	0,434624	14298,21	-0,71897	0
49996	0,524812	752,129	0,503009	683,5702	0,395243	164,5851	0,709221	403,9634	0,462537	14453,39	-0,98587	0
49997	0,103893	510,2229	0,112448	477,6352	0,47011	174,061	0,176281	321,0896	0,369423	13927,08	-0,8202	0
49998	0,817548	963,5472	0,463518	663,9671	0,936654	278,5975	0,397919	358,638	0,160472	12477,62	-0,42091	0
49999	0,298007	632,0761	0,45657	660,564	0,38556	163,3705	0,066072	288,8481	0,575013	15076,15	-0,94247	0
50000	0,494787	735,6852	0,926283	1043,548	0,980822	326,815	0,427278	362,8596	0,918913	17734	-0,99451	0

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 3 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	798,57	239,571	6,63973	0,29356
My	897,91	269,373	6,75698	0,29356
Mz	184,51	55,353	5,17461	0,29356
Pn	738,50	110,7744	-	-
Mp	6648,10	997,215	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	17016
Gagal	32984
PoF	0,65968
K	0,34032

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,852569	1040,277	0,468785	840,4926	0,437431	168,7441	0,046078	551,9368	0,254383	5989,179	-0,99928	0
2	0,607127	828,4323	0,503575	862,3076	0,077081	116,3142	0,104084	599,0729	0,167347	5686,083	-0,68486	0
3	0,76299	943,7954	0,918861	1296,232	0,483592	174,607	0,969136	945,4491	0,399403	6393,917	-0,20045	0
4	0,7354	920,0707	0,823155	1129,178	0,328569	155,1377	0,36082	699,0306	0,589755	6874,383	-0,61509	0
5	0,189305	590,675	0,551783	893,542	0,962497	298,055	0,060275	566,5218	0,062785	5120,558	-0,2483	0
6	0,414474	717,8852	0,070307	558,0321	0,643356	196,8578	0,147519	622,5002	0,323961	6192,72	-0,32994	0
7	0,153797	566,9202	0,487601	852,2293	0,669226	200,9646	0,060559	566,7848	0,795458	7471,306	-0,1173	0
8	0,9376	1200,304	0,257706	710,5501	0,831407	234,2425	0,369998	701,7344	0,442832	6504,706	-0,94284	0
9	0,682518	879,2787	0,498476	859,0781	0,460109	171,6079	0,186053	639,6257	0,167475	5686,592	-0,6762	0
...
49993	0,429427	725,9846	0,420882	811,0867	0,145389	129,6052	0,291416	677,6528	0,344972	6250,28	-0,24105	0
49994	0,223449	611,8287	0,826659	1133,691	0,994638	373,7757	0,491886	736,2427	0,300643	6127,003	0,070553	1
49995	0,203775	599,8041	0,077882	566,9569	0,109013	123,1015	0,995242	1025,724	0,671585	7091,158	0,540002	1
49996	0,783902	963,2444	0,523069	874,7742	0,492345	175,7357	0,83808	847,786	0,082859	5265,863	-0,37404	0
49997	0,342882	679,2275	0,721547	1021,913	0,425376	167,2314	0,564352	756,4428	0,782093	7425,212	0,020882	1
49998	0,486141	757,1291	0,893948	1240,52	0,61867	193,1114	0,623386	773,3219	0,480001	6598,087	-0,15674	0
49999	0,682531	879,2882	0,710648	1012,309	0,917957	265,8926	0,048177	554,3014	0,095414	5343,608	-0,89871	0
50000	0,253118	629,2955	0,130726	618,516	0,971043	308,3721	0,623541	773,3671	0,855441	7705,205	0,20154	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 4 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	815,72	244,716	6,66098	0,29356
My	973,47	292,041	6,83778	0,29356
Mz	176,31	52,893	5,12915	0,29356
Pn	95,27	14,29065	-	-
Mp	1356,10	203,415	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	24458
Gagal	25542
PoF	0,51084
K	0,48916

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,125575	557,8578	0,604841	1008,113	0,511105	170,2602	0,113413	77,9997	0,293115	1245,38	0,872251	1
2	0,518641	792,1131	0,598427	1003,206	0,497577	168,5735	0,956933	119,796	0,3333	1268,465	0,191599	1
3	0,802107	1002,513	0,403394	867,8179	0,512745	170,4658	0,381614	90,96601	0,605403	1410,485	0,612807	1
4	0,932981	1212,991	0,301081	800,1084	0,686134	194,7095	0,45354	93,60297	0,32922	1266,177	-0,55285	0
5	0,4112	731,4945	0,235101	754,2949	0,118456	119,3367	0,794029	106,9962	0,911032	1630,128	0,210287	1
6	0,773699	974,0577	0,035434	548,6793	0,985419	320,375	0,871473	111,4678	0,523587	1368,134	-0,05357	0
7	0,561004	817,3344	0,562881	976,7609	0,338518	149,4383	0,673408	101,6924	0,290521	1243,842	0,657699	1
8	0,224016	625,3163	0,355016	835,9997	0,918357	254,2729	0,484198	94,70482	0,332634	1268,092	0,0651	1
9	0,351936	698,8252	0,96424	1582,597	0,552206	175,5073	0,2636	86,23522	0,624338	1420,561	0,283071	1
...
49993	0,188595	602,8953	0,718555	1105,02	0,903433	247,4438	0,725823	103,8486	0,149477	1144,817	-0,77527	0
49994	0,99441	1645,424	0,672235	1062,876	0,802176	216,6994	0,320968	88,62594	0,388548	1298,512	0,152955	1
49995	0,673334	891,4341	0,108468	648,9234	0,26108	139,948	0,800296	107,3134	0,116506	1113,5	0,472967	1
49996	0,813268	1014,603	0,839988	1248,499	0,196402	131,4063	0,930481	116,4123	0,806549	1532,105	-0,36408	0
49997	0,612671	849,8201	0,703828	1091,123	0,107023	117,2609	0,047858	71,46299	0,867247	1582,597	0,866133	1
49998	0,272027	653,8519	0,386227	856,5311	0,926978	258,7569	0,93229	116,6079	0,740312	1487,162	-0,99988	0
49999	0,732775	937,6249	0,595742	1001,165	0,904856	248,0521	0,201313	83,3106	0,856017	1572,247	0,870346	1
50000	0,733321	938,0823	0,925634	1424,658	0,543458	174,373	0,189869	82,71839	0,838353	1557,015	0,993526	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 5 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	847,39	254,217	6,69907	0,29356
My	981,49	294,447	6,84598	0,29356
Mz	158,41	47,523	5,02210	0,29356
Pn	173,62	26,04345	-	-
Mp	5757,20	863,58	-	-

CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	29034
Gagal	20966
PoF	0,41932
K	0,58068

n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,525691	827,1534	0,773537	1171,82	0,984206	285,1825	0,161025	147,8334	0,741884	6317,804	-0,90261	0
2	0,935369	1267,001	0,464241	915,6504	0,167065	114,2705	0,294677	159,5655	0,694964	6197,6	0,99848	1
3	0,875479	1138,484	0,686502	1084,247	0,812244	196,8121	0,017238	118,5553	0,781748	6429,161	-0,89947	0
4	0,520309	823,8787	0,01876	510,4846	0,688594	175,2987	0,609308	180,8505	0,170223	4933,963	0,55528	1
5	0,457425	786,5717	0,788619	1189,529	0,313369	131,5428	0,336268	162,6152	0,664998	6125,207	0,060598	1
6	0,59502	871,0216	0,528771	960,2293	0,730616	181,7338	0,470314	171,6832	0,542955	5850,364	-0,27864	0
7	0,981731	1499,481	0,376573	857,1904	0,35783	136,3417	0,324248	161,751	0,507681	5773,828	-0,54377	0
8	0,411436	760,0299	0,570238	990,2304	0,176272	115,4901	0,269911	157,6562	0,827695	6573,367	0,129452	1
9	0,734224	975,2903	0,598513	1011,537	0,544364	156,7748	0,647165	183,459	0,240713	5149,231	-0,64065	0
...
49993	0,524476	826,4125	0,85621	1284,556	0,385578	139,3115	0,401148	167,1023	0,467855	5687,542	-0,14117	0
49994	0,958489	1350,101	0,761126	1157,931	0,677378	173,6855	0,439592	169,6643	0,583616	5939,548	0,991516	1
49995	0,662402	917,8945	0,799531	1202,981	0,567852	159,536	0,270339	157,6899	0,776739	6414,581	-0,99575	0
49996	0,045974	494,9025	0,571483	991,1524	0,527027	154,7794	0,958885	218,8838	0,078471	4534,862	-0,8073	0
49997	0,044248	492,2686	0,340567	833,2669	0,683293	174,5314	0,186451	150,417	0,314331	5339,563	0,55452	1
49998	0,726889	968,9525	0,51029	947,2433	0,421967	143,2092	0,342145	163,0333	0,104937	4674,349	-0,9933	0
49999	0,41332	761,1109	0,876809	1321,17	0,306998	130,8475	0,30788	160,5526	0,819698	6546,698	0,20329	1
50000	0,909819	1202,717	0,73384	1129,243	0,442707	145,4443	0,494183	173,2432	0,351109	5427,03	0,118974	1

- Contoh Perhitungan Keandalan Member 207-0699 Kondisi *Subsidence* 6 meter

ID	Normal Dist.		Lognormal Dist.	
	Mean	SD	Mean	SD
P	1067,00	320,1	6,92952	0,29356
My	1496,90	449,07	7,26806	0,29356
Mz	149,63	44,889	4,96508	0,29356
Pn	428,91	64,3371	-	-
Mp	6506,60	975,99	-	-

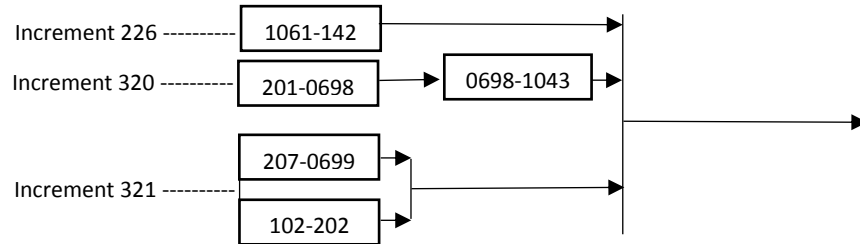
CoV	
Inplace	0,3
Ultimate	0,15

Simulasi	50000
Berhasil	14315
Gagal	35685
PoF	0,7137
K	0,2863

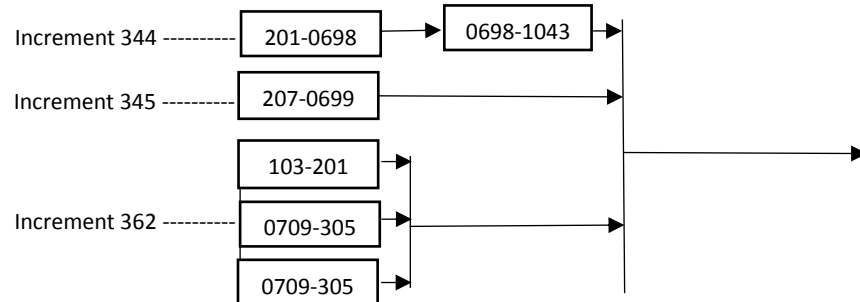
n	a1	P	a2	My	a3	Mz	a4	Pn	a5	Mp	MK	Status
1	0,363735	922,6164	0,332944	1263,074	0,809733	185,3979	0,194502	373,4925	0,546348	6620,245	-0,59664	0
2	0,757058	1253,997	0,472809	1405,346	0,639512	159,1621	0,161235	365,2593	0,422352	6315,422	0,786035	1
3	0,196666	795,4734	0,782398	1802,866	0,037513	84,98279	0,945288	531,904	0,617751	6798,988	-0,86433	0
4	0,134096	738,393	0,342159	1272,46	0,504877	143,8348	0,444165	419,8799	0,991602	8840,315	-0,97266	0
5	0,691357	1183,474	0,827824	1892,5	0,904018	210,2111	0,599884	445,1943	0,839038	7473,331	-0,27818	0
6	0,607435	1107,16	0,891074	2058,651	0,704501	167,8102	0,953407	536,9248	0,463996	6418,399	-0,91339	0
7	0,957513	1694,567	0,419215	1350,466	0,148246	105,4887	0,915516	517,4115	0,442967	6366,594	0,601093	1
8	0,801552	1310,568	0,258765	1185,693	0,424747	135,5539	0,27714	390,8677	0,305224	6009,398	0,683857	1
...
49993	0,131903	736,185	0,173262	1087,589	0,841722	192,3073	0,613098	447,4047	0,659038	6906,598	-0,92222	0
49994	0,25209	840,0321	0,479709	1412,512	0,967906	246,7606	0,470434	424,1416	0,992201	8866,709	-0,99141	0
49995	0,621022	1118,767	0,686392	1653,468	0,033825	83,81777	0,395465	411,858	0,853979	7534,954	-0,22386	0
49996	0,08086	677,7203	0,58384	1525,714	0,619427	156,6967	0,242762	384,0424	0,968328	8318,788	-0,98289	0
49997	0,868038	1418,666	0,206943	1128,001	0,660628	161,8488	0,215576	378,2665	0,751368	7169,103	0,972965	1
49998	0,168031	770,5619	0,999068	3573,758	0,736185	172,5173	0,434101	418,2377	0,926486	7921,894	-0,97924	0
49999	0,99192	2070,642	0,199782	1119,645	0,368083	129,8222	0,870057	501,4001	0,516837	6547,804	0,930176	1
50000	0,552891	1062,682	0,978391	2595,478	0,806922	184,8379	0,178327	369,6106	0,06587	5035,516	0,315146	1

LAMPIRAN 4
RELIABILITY BLOCK DIAGRAM
(RBD)

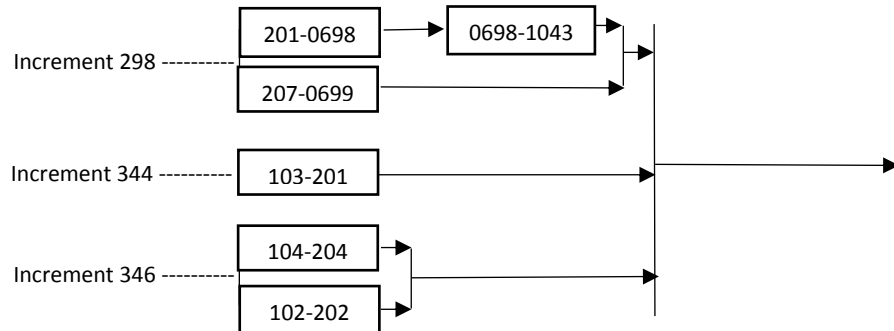
- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Non Subsidence*



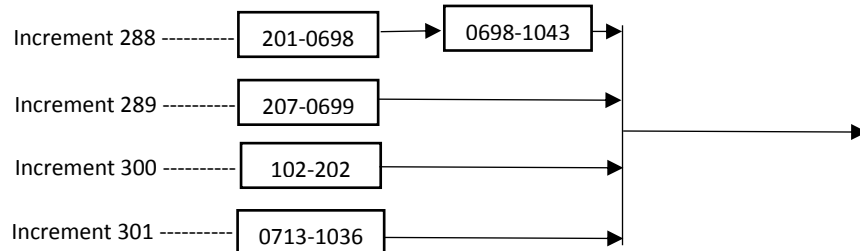
- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 1 meter*



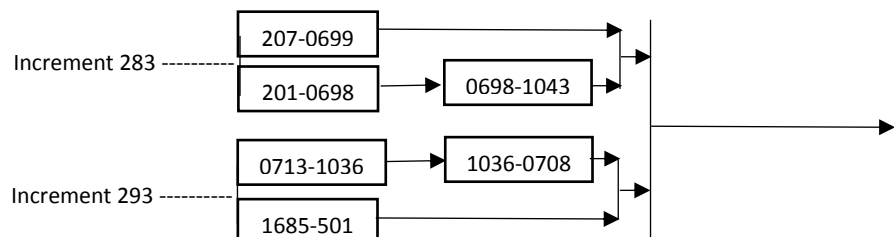
- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 2 meter*



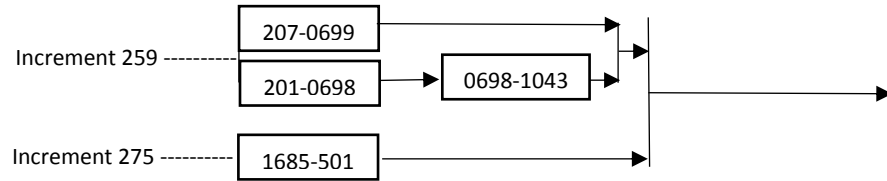
- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 3 meter*



- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 4 meter*



- *Reliability Block Diagram (RBD) Kondisi Subsidence 5 meter*



LAMPIRAN 5

PERHITUNGAN KEANDALAN

SISTEM

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Non Subsidence*

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
226	2,59	1061-142	LG1	0,79372	0,20628
320	3,377	201-0698	BRA	0,29086	0,70914
320	3,377	0698-1043	BRA	0,50122	0,49878
321	3,385	207-0699	BRA	0,68012	0,31988
331	3,46	102-202	PL3	0,50332	0,49668

- Keandalan Sistem Seri

$$\text{Seri 1} = K(201-0698) \times K(0698-1043)$$

$$= 0,35370485$$
- Keandalan Sistem Paralel

$$K = 1 - [(1-K(1061-142)) \times (1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(207-0699)) \times (1-K(102-202))]$$

$$= 1 - 0,175601$$

$$= 0,82439861$$

$$\text{PoF} = 1 - K$$

$$= 1 - 0,82439861$$

$$= 0,175601$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 1 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
344	3,558	201-0698	BRA	0,39246	0,6075
344	3,558	0698-1043	BRA	0,5003	0,4997
345	3,565	207-0699	BRA	0,68356	0,3164
362	3,692	103-201	BR1	0,50556	0,4944
362	3,692	0709-305	BRC	0,88106	0,1189
362	3,693	104-204	PL1	0,49136	0,5086

- Keandalan Sistem Seri

$$\text{Seri 1} = K(201-0698) \times K(0698-1043)$$

$$= 0,30358774$$
- Keandalan Sistem Paralel

$$K = 1 - [(1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(207-0699)) \times (1-K(103-201)) \times (1-K(0709-305)) \times (1-K(104-204))]$$

$$= 1 - 0,104189$$

$$= 0,8958112$$

$$\text{PoF} = 1 - K$$

$$= 1 - 0,8958112$$

$$= 0,104189$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 2 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
298	3,212	201-0698	BRA	0,88184	0,11816
298	3,212	207-0699	BRA	0,87524	0,12476
298	3,212	0698-1043	BRA	0,49892	0,50108
344	3,257	103-201	BR1	0,56566	0,43434
346	3,57	104-204	PL1	0,49924	0,50076
346	3,57	102-202	PL3	0,507	0,493

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 3 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
288	3,138	201-0698	BRA	0,38978	0,61022
288	3,138	0698-1043	BRA	0,50146	0,49854
289	3,212	207-0699	BRA	0,6647	0,3353
300	3,228	103-201	BR1	0,57572	0,42428
301	3,23	0713-1036	BR2	0,68852	0,31148

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}\text{Seri 1} &= K(201-0698) \times K(0698-1043) \\ &= 0,05920761\end{aligned}$$

- Keandalan Sistem Paralel

$$\begin{aligned}K &= 1 - [(1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(207-0699)) \times \\ &\quad (1-K(103-201)) \times (1-K(104-204)) \times \\ &\quad (1-K(102-202)))] \\ &= 1 - 0,117895 \\ &= 0,88210544\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{PoF} &= 1 - K \\ &= 1 - 0,88210544 \\ &= 0,117895\end{aligned}$$

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}\text{Seri 1} &= K(201-0698) \times K(0698-1043) \\ &= 0,30358774\end{aligned}$$

- Keandalan Sistem Paralel

$$\begin{aligned}K &= 1 - [(1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(207-0699)) \times \\ &\quad (1-K(103-201)) \times (1-K(0709-305)) \times \\ &\quad (1-K(104-2-4)))] \\ &= 1 - 0,104189 \\ &= 0,8958112\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{PoF} &= 1 - K \\ &= 1 - 0,8958112 \\ &= 0,104189\end{aligned}$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 4 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
283	3,1	201-0698	BRA	0,29726	0,70274
283	3,1	207-0699	BRA	0,50374	0,49626
283	3,1	0698-1043	BRA	0,50068	0,49932
293	3,17	0713-1036	BR2	0,00972	0,99028
293	3,17	1036-0708	BRC	0,51006	0,48994
293	3,17	1685-501	DSP	0,9064	0,0936

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 5 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
259	2,92	201-0698	BRA	0,9293	0,0707
259	2,92	207-0699	BRA	0,4254	0,5746
259	2,92	0698-1043	BRA	0,5003	0,4997
275	3,04	1685-501	DSP	0,88412	0,11588

- Keandalan Sistem Seri

$$\text{Seri 1} = K(201-0698) \times K(0698-1043) \\ = 0,35089214$$

$$\text{Seri 2} = K(0713-1036) \times K(1036-0708) \\ = 0,48517778$$

- Keandalan Sistem Paralel

$$K = 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) \times (1 - K(207-0699)) \times \\ (1 - K(\text{Seri 2})) \times (1 - K(1685-501))] \\ = 1 - 0,152581 \\ = 0,84741899$$

$$\text{PoF} = 1 - K \\ = 1 - 0,84741899 \\ = 0,152581$$

- Keandalan Sistem Seri

$$\text{Seri 1} = K(201-0698) \times K(0698-1043) \\ = 0,03532879$$

- Keandalan Sistem Paralel

$$K = 1 - [(1 - K(\text{Seri 1})) \times (1 - K(207-0699)) \times \\ (1 - K(1685-501))] \\ = 1 - 0,362817326 \\ = 0,637182647$$

$$\text{PoF} = 1 - K \\ = 1 - 0,637182647 \\ = 0,362817326$$

- Perhitungan Keandalan Sistem Kondisi *Subsidence* 6 meter

Increment	Load Factor	Member	Group	PoF	K
142	2,04	201-0698	BRA	0,96294	0,03706
142	2,04	0698-1043	BRA	0,45962	0,54038
143	2,05	207-0699	BRA	0,71344	0,28656
156	2,15	1685-501	DSP	0,9659	0,0341
156	2,15	1691-509	DSP	0,80756	0,19244

- Keandalan Sistem Seri

$$\begin{aligned}\text{Seri 1} &= K(201-0698) \times K(0698-1043) \\ &= 0,02002648\end{aligned}$$

- Keandalan Sistem Paralel

$$\begin{aligned}K &= 1 - [(1-K(\text{Seri 1})) \times (1-K(207-0699)) \times \\ &\quad (1-K(1685-501)) \times (1-K(1691-509))] \\ &= 1 - 0,54535 \\ &= 0,45465\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{PoF} &= 1 - K \\ &= 1 - 0,45465 \\ &= 0,54535\end{aligned}$$

BIODATA PENULIS

BIODATA PENULIS



Shailla Ainnilah, lahir di kota Sukabumi, 3 Juni 1995. Penulis telah menempuh pendidikan formal yaitu di SDN 1 Cikidang, SMPN 2 Cibadak, dan SMAN 1 Cibadak. Pada tahun 2013, penulis melanjutkan pendidikan Strata 1 di Jurusan Teknik Kelautan melalui jalur SBMPTN dan terdaftar dengan NRP. 4313100125. Penulis pernah menjalani kerja praktek di PT. ZEE Indonesia selama 2 bulan. Penulis aktif dalam kegiatan ORMAWA dan pelatihan yang diselenggarakan oleh jurusan, fakultas, maupun institut. Buku Tugas Akhir yang berjudul “Analisa *Ultimate Strength* Struktur *Jacket Platform* Berbasis Keandalan Pasca *Subsidence*” telah diselesaikan penulis dalam 1 semester sebagai syarat akhir kelulusan. Permasalahan yang diangkat oleh penulis mendasar kepada salah satu bidang keahlian di Jurusan Teknik Kelautan.

Email : shaillaaini@outlook.co.id